

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

PBX Asterisk a jeho integrace do telekomunikační sítě
Asterisk and its Integration into Telecommunication Network

2014

Bc. Leoš Zimek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Leoš Zimek

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601T013 Telekomunikační technika

Téma:

PBX Asterisk a jeho integrace do telekomunikační sítě
Asterisk and its Integration into Telecommunication Network

Zásady pro vypracování:

1. Projekt PBX Asterisk
2. IAX a SIP trunk
3. Interoperabilita s PSTN na tradičních rozhraních
4. Scénáře propojení s PSTN a jejich praktická realizace
5. Zhodnocení dosažených výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

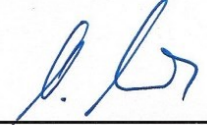
VOZŇÁK M. *Voice over IP*. VŠB-TU Ostrava, 1. vyd., 176 str., 2009, ISBN 978-80-248-1828-3.
MADSEN L., MEGGELEN J., BRYANT R. *Asterisk: The Definitive Guide*. O'Reilly Media, 2011, 738p.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.**


Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry



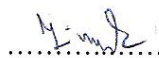


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *1. května 2014*


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Miroslavu Vozňákovi, Ph.D. za vedení, odbornou pomoc a konzultace při tvorbě této diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval kolegovi Bc. Michalu Zimkovi za vypůjčení vlastního počítače k realizaci praktického měření a své rodině za obrovskou podporu v průběhu celého studia.

Abstrakt

Začátek diplomové práce popisuje klíčové vlastnosti projektu PBX Asterisk spolu s rozpisem vývoje nových verzí. Zaměřuje na dva internetové signalizační protokoly SIP a IAX, které umožňují komunikaci v sítích VOIP. Teoretický základ je zde popsán i u analogové technologie a ISDN.

Praktická část je zaměřena na realizaci komunikace pomocí různých technologií s využitím systému Asterisk jako pobočkové ústředny mezi nimi. Kombinují se zde prvky ISDN, GSM a VOIP s využitím protokolů SIP a IAX.

Ve všech případech propojení jsou popsány návody k jejich zprovoznění s rozsáhlou problematikou, která se při zapojení vyskytuje. Součástí práce jsou i určitá měření, která poslouží k závěrečnému zhodnocení dosažených výsledků.

Klíčová slova:

FXO, FXS, GSM, IAX, ISDN, PBX, PSTN, SIP, Trunk, VOIP

Abstract

Top of the diploma thesis describes the key features of Asterisk PBX project and the new version. It also focuses on two Internet signaling protocols SIP and IAX, which allows communication over VoIP networks. The theoretical basis is described here also analog and ISDN technology.

The practical part is focused on the implementation of communication using various technologies, using a system like Asterisk PBX between them. It combines elements of ISDN, GSM and VOIP using SIP and IAX.

In all cases, connections are described in the instructions for their launch with extensive problems that occur during participation. Part of this work are certain measurements that will be used for the final evaluation of the results.

Keywords:

FXO, FXS, GSM, IAX, ISDN, PBX, PSTN, SIP, Trunk, VOIP

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
BRI	Basic Rate interface	Účastnická přípojka
CCS	Common Channel Signaling	Signalizační systém
DTMF	Dual-tone multi-frequency	Tónová volba
E1	E-carrier	Digitální linka v Evropě
FXO	Foreign Exchange Office	Analogové rozhraní
FXS	Foreign Exchange Station	Analogové rozhraní
GSM	Global System for Mob. Com.	Globální Systém Mob. Komunikací
IAX	Inter-Asterisk eXchange	Signalizační protokol VOIP
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
ITU-T	ITU Tel. Standardization Sector	Mezinárodní tel. unie
MOS	Mean Opinion Score	Bodová stupnice
PBX	Private branch exchange	Pobočková telefonní ústředna
PCI	Peripheral Component Interconnect	Počítačová sběrnice
PCM	Pulse-code modulation	Pulzně kódová modulace
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality	Hodnocení kvality řeči
PRI	Primary Rate interface	Připojení pobočkových ústředen
PSTN	Public Switched Telephone Network	Veřejná telefonní síť
RJ-45	Physical connector	Typ zapojení síťových kabelů
RTP	Real-time Transport Protocol	Zajišťuje přenos obrazu a zvuku
SIP	Session Initiation Protocol	Signalizační protokol VOIP
SS7	Signaling System Number 7	Signalizační systém
T1	T-carrier	Digitální linka v Severní Americe
TCP	Transmission Control Protocol	Transportní protokol

Zkratka	Anglický význam	Český význam
UAC	User Agent Client	Podává žádost o spojení
UAS	User Agent Server	Přijímá žádost o spojení
UDP	User Datagram Protocol	Transportní protokol
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
UTP	Unshielded Twisted Pair	Druh kabelu s kroucenými páry
VOIP	Voice over Internet Protocol	Tel. prostřednictvím Internetu
WAV	Waveform Audio File Format	Zvukový formát
xDSL	Digital Subscriber Line	Internetové připojení

Obsah

1	Úvod.....	- 1 -
2	Asterisk	- 2 -
2.1	Architektura Asterisku	- 3 -
2.2	Asterisk 10	- 4 -
2.3	Asterisk 11	- 4 -
2.4	Asterisk 12	- 5 -
3	SIP.....	- 7 -
3.1	Žádosti protokolu SIP	- 7 -
3.2	Odpovědi protokolu SIP.....	- 7 -
3.3	Sip.conf	- 8 -
4	IAX2.....	- 11 -
4.1	IAX žádosti	- 13 -
4.2	IAX odpovědi.....	- 14 -
4.3	Konfigurace IAX2.....	- 14 -
5	Analogové připojení.....	- 15 -
6	ISDN	- 16 -
6.1	Signalizační systém č. 7	- 16 -
6.2	Kódování HDB3.....	- 19 -
6.3	Detekce chyb při přenosu.....	- 19 -
7	Kvalita řeči.....	- 20 -
7.1	Hodnocení kvality řeči intrusivní metodou	- 20 -
8	Praktické zapojení - ISDN Trunk.....	- 22 -
8.1	Instalace zařízení.....	- 23 -
8.1.1	DAHDI:.....	- 24 -
8.1.2	LibPRI.....	- 24 -

8.1.3	Asterisk	- 24 -
8.2	Konfigurace ústředny	- 25 -
8.2.1	PBX Asterisk 1:.....	- 25 -
8.2.2	PBX Asterisk 2.....	- 28 -
8.3	Kvalita hovoru.....	- 30 -
9	Připojení do sítě mobilního operátora	- 33 -
9.1	Instalace USB modemu.....	- 34 -
9.1.1	Stažení firmwaru	- 34 -
9.1.2	Získání aktivačního kódu	- 34 -
9.1.3	Zavedení USB modulu do systému Asterisk.....	- 35 -
9.2	Konfigurace ústředny	- 36 -
9.3	Testování ústředny	- 37 -
9.4	Zatížení trunku	- 39 -
9.4.1	Závislost zpoždění SIP a IAX při zátěži mezi PBX2 a PBX3.	- 41 -
9.4.2	Kvalita hovoru mezi PBX2 a PBX3.....	- 42 -
9.4.3	Kvalita hovoru skrze mobilní síť operátora.....	- 43 -
10	Shrnutí výsledků.....	- 44 -
11	Závěr	- 45 -
12	Použité zdroje a literatura.....	- 47 -
13	Seznam příloh.....	- 49 -

1 Úvod

Telekomunikační síť patří mezi jedny z nejrychleji rostoucích sektorů moderních informačních technologií. Před několika desetiletími stačilo o telekomunikacích v podstatě vědět, jak je telefonní síť provozována. Dnes tato oblast představuje širokou škálu moderních technologií a služeb. Přesto, že se dnes najdou některé méně rozvinuté země, které teprve objevují například mobilní komunikaci a internet, tak ve většině části světa se již v podstatě neobejde jedna technologie bez druhé.

Nutnost volby komunikačního odvětví je dnes stále složitější. V minulosti se zde vyskytoval jeden místní telefonní operátor, kterého jsme se rozhodli využívat, či nikoliv [23]. V současné době nám mnoho operátorů nabízí svá xDSL řešení, případně přímo mobilní internetová připojení. Stejně možnosti výběru máme i u telefonních služeb. Telekomunikace je strategicky důležitým zdrojem pro většinu moderních korporací a jeho význam se neustále zvyšuje. Zvláštní pozornost je třeba věnovat aspektům bezpečnosti a nákladů na služby. Telekomunikační služby jsou dnes uživatelům nabízeny v obrovském množství a je důležité tyto technologie více poznat a využít tak možnosti, jaké se dnes nabízí.

Diplomová práce se soustředí na možnosti realizace komunikace pomocí současných technologií a demonstruje tak možná zapojení s vytvořením vlastní pobočkové ústředny za pomoci systému Asterisk, který představuje vrchol „open source“ řešení.

V teoretické části práce je popsán samotný Asterisk spolu s rozpisem nových verzí a jejich pokročilými funkcemi. Zaměřuje se na signalizační protokoly SIP a IAX, pracujících v sítích VOIP a popisuje také různé technologie propojení s PSTN, při čemž některé z nich budou také realizovány.

Začátek praktické části diplomové práce je věnován technologii ISDN, která je v dnešní době v podstatě na ústupu. Přesto je dnes technologie stále používána a jeho výhodou je zde naprostá funkčnost použitých ovladačů se systémem Asterisk, které již není potřeba více upravovat.

Další varianta zapojení využívá již kombinaci připojení do sítě mobilního operátora, spolu s přemostěním do paketově přepínané sítě, využívající protokoly SIP a IAX.

2 Asterisk

Asterisk dnes patří mezi nejvýznamnější projekty, řadící se do skupiny otevřeného softwaru. Za několik let se z pouhé myšlenky stal v podstatě nejrychleji se rozvíjející komplexní řešení v oblasti telekomunikační techniky. Podporuje jak základní funkce v oblasti volání, tak i možnosti širokého spektra nastavení, což jej předurčuje jako ideální volby tvorby telefonní ústředny. Vzhledem k možnostem propojení rozdílných platforem komunikačních zařízení se dokonce stává v tomto oboru aplikací v podstatě nepostradatelnou. Samozřejmostí je podpora různých kodeků, ať už v aplikaci integrovaných, či s možností rozšíření o kodeky zcela nové.

Asterisk je v podstatě symbolem cesty, kterou se vypravil open source s vytyčeným cílem změnit svět podnikatelský a v podstatě i svět jako takový. Využití Asterisku se dá použít pro menší kanceláře se zapojením několika jednotlivých linek až po instalaci velkých multi serverů na vícero kontinentech. Přitom všem stačí začít s instalací balíčku, otevřít některé z konfiguračních souborů a dle vlastních možností začít s realizací ať už malé, či větší telefonní ústředny.

Co se týče podpory hardwaru, těch je podporována celá řada. Dokonce i velcí výrobci, snažící se podporovat vlastní systémy využívají Asterisk ve svých laboratořích. V podstatě jsou dnes téměř veškerá zařízení, jež mají co dočinění s Voice-over-IP testována pro komunikaci s Asteriskem, k zajištění větší kompatibility systémů napříč sítěmi. Prakticky je nyní Asterisk nejúspěšnější pobočkovou ústřednou (PBX) na světě.

Neuvěřitelná pružnost Asterisku sebou ale přináší i svou daň. Vzhledem ke složitosti konfigurace se určitě nejedná o jednoduchý systém a spoustu lidí odradí už jen to, spatří-li poprvé dialplán. Zde teprve začnou přemýšlet o možnostech. Je tedy na místě, že k dosažení skutečně funkční ústředny bude zapotřebí velkého úsilí.

2.1 Architektura Asterisku

Oproti tradičním PBX je Asterisk dost odlišný, díky dialplánu jedná se všemi přicházejícím kanály v podstatě stejným způsobem.

U tradičních PBX je rozlišován rozdíl mezi stanicemi (telefonní přístroje) a trunky (prostředky pro spojení se světem). To může znamenat pro příklad, že nelze nainstalovat externí gateway (bránu) na port stanice a uskutečnit tak hovor bez toho, aniž by uživatelé vytočili nejprve klapku. Také koncept „off-site zdroje (jako například recepce), je mnohem těžší realizovat na tradiční pobočkové ústředně, protože systém nedovolí externím zdrojům žádný přístup k vnitřním funkcím.

Na druhou stranu Asterisk nemá vnitřní koncept trunků nebo stanic. Veškeré vstupy či výstupy ze systému Asterisk jsou řešeny skrze nějaký „channel“ (kanál). Těch je zde několik druhů. Nicméně dialplán Asterisku umožňuje ovládat všechny kanály podobným způsobem, což tedy znamená, že například uživatel připojený ke konci externího trunku (např. mobilní telefon) bude v dialplánu ošetřen naprosto stejným způsobem jako uživatel na vnitřní lince [1].

Moduly

Asterisk je v podstatě založen na modulech. Ty jsou spouštěny spolu s aplikací a poskytují funkce jakými je například kanálový řadič (*chan_sip.so*), případně obsahují informace umožňující připojení externích zdrojů (*func_odbc.so*) [1]. K dispozici jsou také kodeky sloužící ke konverzi audio zvukových formátů mezi hovory.

Konfigurace modulů probíhá v souboru *modules.conf* (.,/etc/asterisk/modules.conf“). V podstatě zde řídíme spouštění těchto modulů. Namísto ručního povolování každého modulu zvlášť se doporučuje používat příkaz *autoload=yes* a potom moduly, které nechceme, stačí jen vyloučit [1].

Soubor *modules.conf*, až na výjimku *autoload*, umožňuje specifikovat veškerá nastavení vícekrát.

Dialplán

Dialplán je v podstatě srdcem Asterisku. Veškeré kanály, které přijdou do systému, jsou ovládány skrze něj. Ten obsahuje skript, určující jakým způsobem bude zacházeno s přicházejícími hovory.

Konfiguračním souborem dialplánu je *extensions.conf* (.,/etc/asterisk/extensions.conf“).

2.2 Asterisk 10

Zásadní novinkou je číslování verzí Asterisku. Po uvedení verze 1.8 s dlouhodobou podporou přichází Asterisk se zcela novým značením. Verze 10 je sice verzí přechodnou, přináší však sebou několik zásadních novinek. Mezi hlavní patří:

Textové zprávy

Asterisk nyní umožňuje posílání textových zpráv nezávisle na aktivním hovoru. Jako protokoly využívá SIP SIMPLE či XMPP, kterým využívá i jabber. Zprávy jsou routovány skrze dialplán. Konfigurace se provádí v souborech *jabber.conf* a *sip.conf* [3].

jabber.conf: parametry „*sendtodialplan*“ (posílá zprávy do dialplanu) a „*context*“

sip.conf: parametry „*accept_outofcall_message*“ (zapíná podporu přijímání textových zpráv), „*auth_message_requests*“ a „*outofcall_message_context*“

Modul konference

Předchozí verze se potýkaly s problematikou kvality hovoru. Tento problém byl vyřešen znovu přepsáním konferenčního modulu, což nyní umožňuje využití konferenčních hovorů s technologií založené na HDSP.

HDSP (High Definition Sound Performance) umožňuje telefonovat přes internet v širokopásmové audio kvalitě a hovory při konverzaci se jeví jako tváří v tvář [2].

Přibyla i základní podpora pro video. Mód *follow_talker* umožňuje přepínat zdroj videa podle toho, kdo mluví nejhlasitěji [3]. Podmínkou je užití stejného kodeku pro všechny účastníky.

Kodek SILK

Jedná se o audio kodek, vyvíjený a výhradně také dříve používaný komunikačním nástrojem Skype. Vývojáři nicméně umístili po čtyřletém vývoji jeho zdrojový kód na internet. SILK je velmi kvalitní kodek, ale jeho nároky na výkon jsou zhruba třikrát vyšší než u kodeku G729a [3].

2.3 Asterisk 11

Zásadní a také nejpodstatnější novinkou Asterisku ve vývoji při přesouvání technologií k webu je bezesporu podpora protokolu WebRTC. Jedná se o webový standard iniciovaný Googlem, tento protokol umožňuje komunikaci probíhající v reálném čase přímo v internetovém prohlížeči bez potřeby nutnosti dalších modulů jako Flash, Java, atd. [4].

WebRTC standard má potenciál umožnit audio/video komunikaci nezávisle na operačním systému nebo zařízení [4]. Verze 11 je označena jako Long Term Support (LTS) a bude tedy poskytovat aktualizace delší dobu.

2.4 Asterisk 12

Stejně jako verze 10 je Asterisk 12 vydán jako standartní verze. Nejedná se tedy o LTS verzi s dlouhodobou podporou ale spíše k testovacím účelům a vyzkoušení nových funkcí, kterých je v této verzi opravdu hodně. Oproti předchozím verzím došlo k několika opravdu velkým změnám.

Hlavní novinkou je bezesporu podpora nových kodeků OPUS a VP8.

OPUS představuje otevřený audio kodek, na jehož vývoji se podílel Skype, Xiph.Org, Mozilla a Broadcom. Výhodou je vysoká kvalita při zachování nízké datové náročnosti [15]. Potenciál kodeku je tak obrovský, že v budoucnu může nahradit ostatní kodeky, včetně kompresního formátu mp3.

VP8 je označení pro video kodek, za kterým stojí On2 Technologies. Vlastníkem kodeku je společnost Google. Jeho podpora je obsažena i v HTML5.

„Asterisk 12 obsahuje nový bridging framework, který umožňuje bezpečné a konzistentní manipulace s hovorovými kanály, které jsou v bridgi připojeny“ [15]. Bridge také nově pracuje se všemi moduly, které jsou spjaty s hovorovými kanály.

Některé změny se týkají i kanálových řadičů:

chan_dahdi

V CLI Asterisku lze použít nový příkaz *pri destroy span*, který ukončí D-kanál požadovaného spanu a B-kanály.

Příkaz *dahdi destroy channel* je nahrazen *dahdi destroy channels*. Rozsah kanálů, které budou ukončeny, může být upřesněn.

Nový je také příkaz *dahdi create channels*. Rozsah kanálů, které mohou být vytvořeny, je možné upřesnit. Také lze použít příkaz *new*, který přidá ještě nevytvořené kanály.

chan_iax2

Přidána podpora IPv6

chan_pjsip

Jedná se o nový SIP kanálový řadič

Změny protokolu SIP

Asterisk nově obsahuje soubor pjsip.conf a konfigurace se od původní sip.conf mírně liší. Tímto řadičem bude postupně starší sip.conf později plně nahrazen. Pro převod původní konfigurace do nového souboru je k dispozici konvertor, ten potěší uživatele, kteří mají v současné době vytvořenou poměrně složitou konfiguraci [15].

Rozdílné konfigurace mezi sip.conf a pjsip.conf ukazuje následující obrázek:

sip.conf	pjsip.conf
<pre>[general] udpbindaddr=0.0.0.0 [6001] type=friend host=dynamic disallow=all allow=ulaw context=internal secret=1234</pre>	<pre>[simpletrans] type=transport protocol=udp bind=0.0.0.0 [6001] type = endpoint transport = simpletrans context = internal disallow = all allow = ulaw aors = 6001 auth = auth6001 [6001] type = aor max_contacts = 1</pre>

Obr. 2.1: Rozdíl mezi sip.conf a pjsip.conf [16].

Rozdíl je patrný na první pohled v délce samotného kódu. Pro nastavení koncového uživatele je potřeba více voleb a v případě konfigurace trunku je situace ještě o něco složitější.

Při nastavení extensions.conf se jedná o jedinou změnu

exten => 100,1,Dial(PJSIP/100)

Volání kanálu SIP je zde nahrazeno PJSIP.

3 SIP

Session Initiation Protocol. Jedná se v podstatě v dnešní době o nejrozšířenější signalizační protokol používaný v sítích VOIP. Zařizuje jak sestavení hovoru, tak jeho ukončení a poskytuje služby nutné pro přenos hovoru v IP sítích. Jedná se o textově orientovaný protokol a pro přenos uživatelské informace využívá Real-time Transport Protocol (neboli RTP). Pro přenos médií pak transportní protokol TCP nebo UDP. Druhý jmenovaný využívá nejčastěji a to na portu 5060. Typ identifikace uživatelů je podobný emailové adrese jako *uživatel@server*, (příklad zde uvádí nejjednodušší formu identifikace)[1].

Koncová zařízení jsou popsána poněkud zajímavým způsobem. Rozlišujeme část klientskou UAC (*User Agent Client*), které posílá žádosti a serverovou UAS (*User Agent Server*), jenž odesílá odpovědi. Tyto zprávy popisuje následující seznam.

3.1 Žádosti protokolu SIP

- REGISTER - zahájení procesu registrace
- INVITE - žádost o spojení
- ACK - potvrzení o sestavení spojení
- CANCEL - přerušení sestavování spojení
- BYE - konec spojení
- OPTIONS - zjišťuje jaké má protistrana možnosti (kodeky, typy médií atd.)[8]

3.2 Odpovědi protokolu SIP

Vycházejí z odpovědí, které využívá i HTTP

- 1xx – (průběh) vzdálená strana informuje o průběhu zpracování žádosti
- 2xx – (úspěch) vyřízení žádosti proběhlo úspěšně
- 3xx – přesměrování
- 4xx – chyba je na straně klienta
- 5xx – chyba je na straně serveru
- 6xx – fatální chyba [8]

Vlastnosti signalizačního protokolu SIP se dobře popisují při vzorové konfiguraci napříč nastavení Asteriskem. Tento příklad je popsán v Anglicky psané literatuře *Asterisk: the definitive guide*, který vychází jako tištěná kniha, či elektronická publikace (PDF).

Kniha tuto problematiku popisuje na následujícím příkladu.

3.3 Sip.conf

```
[general]
context=unauthenticated
allowguest=no
srvlookup=no
udpbindaddr=0.0.0.0
tcpenable=no

[office-phone](!)
type=friend
context=LocalSets
host=dynamic
nat=force_rport,commedia
dtmfmode=auto
disallow=all
allow=g722
allow=ulaw
allow=alaw

[0000FFFF0001](office-phone)
secret=4VQ96sg6ROc

[0000FFFF0002](office-phone)
secret=sKAw7GCTtcA [1].
```

Jako vzor máme vytvořeny čtyři sekce. První z nich nese označení [general]. Jedná se o standartní sekci, která se nachází v horní části konfiguračního souboru pro všechny kanály modulů a musí být vždy takto pojmenovaná. Sekce [general] obsahuje obecné možnosti konfigurace, jakým se tento protokol vztahuje k systému a může být použita pro definování výchozích parametrů.

Pro příklad je definován výchozí kontext jako „unauthenticated“ (čili neautorizovaný). To zajistí, co jsme výslovně deklarovali při vstupu hovoru neautorizovanými hosty do dialplánu (je to lepší, nežli to ponechat náhodě). Jelikož jsme jej pojmenovali jako neautorizované, je nyní zřejmé, že výzvy v této souvislosti nejsou důvěryhodné a proto by neměly být schopni provádět

věci, jako jsou odchozí hovory do veřejné telefonní sítě (PSTN), což by pro nás například znamenalo placené hovory.

Další možností je „allowguest“. Zde je nastavena hodnota „no“. Tuto možnost jsme tedy zavrhnuli, jelikož v tomto okamžiku nechceme přijímat žádná neověřená volání.

„srvlookup=no“, volba nám dává možnost provádět vyhledávání prostřednictvím DNS SRV záznamu, který se obvykle používá pro odchozí připojení k poskytovateli služeb.

„udpbindaddr=0.0.0.0“ umožňuje nastavit IP adresu rozhraní, ze které bude Asterisk naslouchat požadavkům UDP transportního protokolu. V případě, že nastavíme hodnotu 0.0.0.0, bude Asterisk naslouchat ze všech rozhraní.

Nastavení „tcpenable“ umožňuje přijímat požadavky prostřednictvím transportního protokolu TCP. Tu máme nyní deaktivovanou.

Jako další částí je definovaná šablona, která je pojmenovaná [office-phone](!). Šablona je vytvořena tak, aby hodnoty v ní mohly být využity pro všechna naše zařízení. To, že je to šablona, dáváme Asterisku najevo použitím symbolu (!). Tímto způsobem můžeme eliminovat potřebu opakovaně přidávat a měnit možnosti konfigurace pro každé zařízení, které jsme se rozhodli definovat. Šablony jsou velmi užitečné, a proto jsou k dispozici ve všech konfiguračních souborech Asterisku.

V této šabloně je definováno několik voleb požadovaných pro autorizaci a kontrolu hovorů jak směrem k zařízení používající tuto šablonu, tak směrem od něj. Prvním nastavením je „type=friend“, tím říkáme kanálovému řadiči, aby reagoval nejprve na jméno a až pak na IP adresu.

V praxi se používají celkem tři typy.

„peer“ reaguje na příchozí požadavky s použitím zdrojové IP adresy a čísla portu

„user“ naopak využívá uživatelského jména („From“ hlavička SIP požadavku)

„friend“ umožňuje přizpůsobovat pravidla pro „peer“ i „user“ a slouží pro navázání oboustranné komunikace. Toto nastavení se využívá pro SIP telefony nejčastěji [1].

Parametr „context“ určuje, která část souboru extensions.conf obslouží hovory pocházející z těchto telefonů [5]. V našem případě je tento kontext pojmenován LocalSets.

„host“ parametr určuje adresu IP na vzdáleném konci tohoto kanálu. Je zde možnost použít statickou IP adresu (zadáme IP adresu „protistrany“), případně zadáme hodnotu „dynamic“ (tím se IP adresa telefonu určuje z registrace).

„nat“ parametr je nutné použít, pokud se vzdálené zařízení (telefon) nachází za firewallem se síťovým překladem adres (NAT). Vzhledem k tomu, že SIP protokol obsahuje IP adresy ve zprávách, je tento parametr obzvláště důležitý.

„dtmfmode“ se používá k definování tónové volby (DTMF). Jsou zde čtyři možnosti nastavení: *info*, *inband*, *rfc2833* a *auto*. Hodnota *info* znamená použití SIP INFO metody, *inband* je pro inband zvukové tóny a *rfc2833* slouží pro out-of-band metodu definovanou RFC. Použitím volby *auto* určuje Asterisk automatiku, kterou DTMF volbu použije (je-li k dispozici, upřednostňuje *rfc2833*).

Poslední dvě nastavení *disallow* a *allow* jsou použity k výběru audio kodeku. Definováním možnosti *disallow=all* vypneme předešlá nastavení a příkazem *allow* volíme kodeky, které chceme použít.

Nyní, když je dokončena tvorba šablony, můžeme definovat název zařízení. S využitím *office-phone* šablony se výrazně zjednoduší množství podrobností nastavení u každého zařízení. Jméno zařízení je definováno v hranatých závorkách, za nimi se nachází informace o použití šablony. Heslo je určeno pomocí položky *secret* [1].

4 IAX2

Tvůrcem tohoto protokolu, stejně jako verze první je Mark Spencer, jeho celý název je Inter-Asterisk eXchange protokol verze 2 a je prakticky nativním signalizačním protokolem Asterisku, kterým je Spencer také tvůrce. Byl navržen pro jednoduchou propustnost VOIP hovorů skrze firewall (tím, že nese signalizaci a média přes stejné připojení). Snadno je tedy navázána komunikace přes NAT (s touto problematikou se v minulosti potýkal protokol SIP). Přesto, že jeho primární funkcí je přenos hlasu v IP síti, je možné jej použít i pro přenos videa. Pro přenos dat využívá protokol UDP, který má velmi jednoduchou strukturu záhlaví a je velmi často využíván u aplikací vyžadujících přenos v reálném čase s minimálním časovým zpožděním [8] a kde nevadí, že nějaký paket nebyl doručen.

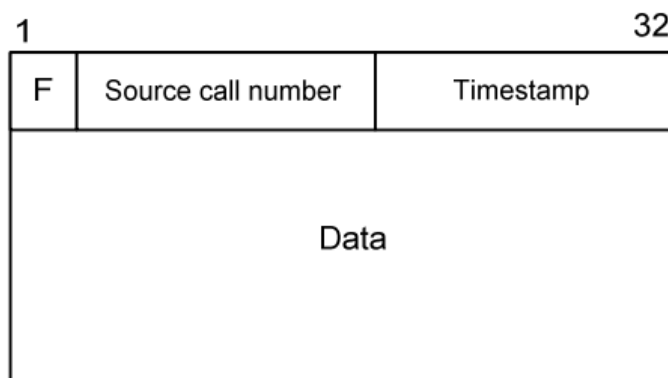
Během letitého vývoje Asterisku dozrál i samotný protokol IAX2. Tato verze byla oficiálně publikována v roce 2010 s označením RFC 5456 - *IAX: Inter-Asterisk eXchange Version 2*. Nicméně se mezi výrobci hardwaru nestal příliš populárním, zde „kraluje“ SIP, který se stal v podstatě nejznámějším protokolem VOIP.

Jednou z hlavních výhod protokolu je použití jednoho portu pro lepší průchod firewallem. Veškerý provoz, včetně signalizace a zvukových dat, se přenáší přes jediný port UDP (defaultně port 4569). To může velice zjednodušit konfiguraci a řešení problémů externích spojení s Asteriskem.

Další funkcí je schopnost trunku zapouzdřit pakety několika hlasových rámců do stejného datagramu pomocí jednoho záhlaví IAX2. Výhodou je pak snížení šířky přenosového pásma při přenosu více hovorů současně mezi dvěma koncovými body. Pokud by se jednalo o přenos jednoho páru volání, rozdíl bude bezvýznamný. Při přenosu ale například stovek hovorů současně mohou být tyto úspory značné. Lepší využití tedy najde při budování trunků mezi dvěma Asterisky[1].

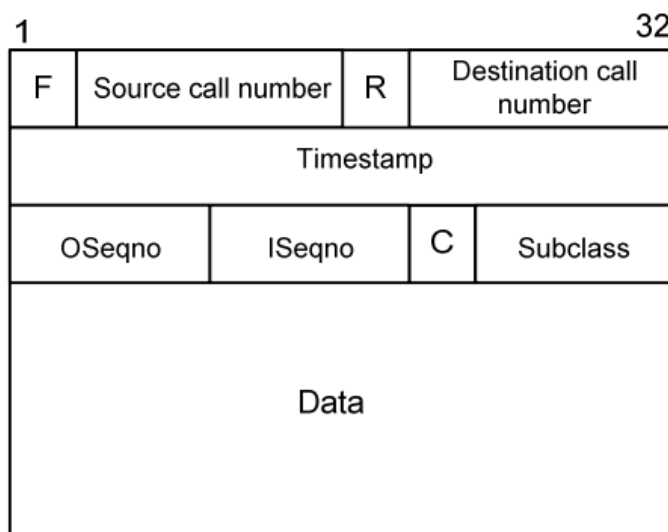
Bohužel protokol postrádá obecný mechanismus pro další rozšiřování funkcionalit. Důsledkem toho vyžaduje každé vylepšení změnu specifikace protokolu, což má za následek nekompatibilitu s předchozí verzí.

IAX využívá dva typy rámců. Prvním je Mini Frame, jehož hlavička má velikost 32 bitů. Z toho 15 bitů je vyhrazeno pro Source call number, což je zdrojové číslo volajícího a jeden bit je označen písmenem F, který rozlišuje typ rámce (jednička je pro Full Frame a nula pro Mini Frame). Časová značka TimeStamp má velikost 16 bitů. Mini Frame nepřenáší signalizační data ale pouze zvuková, jejichž doručení rámců se nepotvrzuje [19][20].



Obr. 4.1: *Mini Frame* [19].

V případě Full Frame se přenáší kompletní hovor včetně signalizace spolu s potvrzováním doručení rámců. Velikost hlavičky je 96 bitů.



Obr. 4.2: *Full Frame* [19].

Timestamp má u tohoto rámce velikost 32 bitů a přibilo Destination Call number, což je číslo volaného. Další prvky označují:

- OSeqno (OutBound stream sequence number) – udává číslo odchozích rámců.
- ISeqno (InBound stream sequence number) - číslo příchozích rámců
- C „určuje jak bude interpretováno pole nazývané Subclass“[19]

„Pokud je C rovno nule, Subclassje interpretováno jako mocnina dvou, když je C jedna, Subclassje interpretován jako 7 bitová hodnota“[19].

4.1 IAX žádosti

- AUTHREQ (Authentication Request) – Jedná se o odpověď na zprávu NEW, jestli byl požadavek pro hovor akceptován. Pokud bude přijato AUTHREQ, vzdálený peer musí odpovědět zprávou AUTHREP, případně HANGUP.
- DIAL – Tato zpráva může být použita IAX peerem, který nemá záznam diaplánu.
- HANGUP – Slouží k ukončení, již sestaveného hovoru. Toto ukončení je následně potvrzeno zprávou ACK
- HOLD – Účelem této zprávy je posláni žádosti vzdálenému peeru zastavení odesílání multimediálních streamů. Pokud tato funkce není vzdáleným peerem podporována, měla by být tato zpráva ignorována.
- NEW – Aby bylo možné zahájit hovor, musí být zpráva NEW odeslána vzdálenému peeru. Odpovědí na tuto zprávu může být REJECT, AUTHREQ, HUNGUP nebo ACCEPT
- PING – Slouží jako test spojení mezi dvěma IAX peery. Po obdržení této zprávy by měl vzdálený peer odpovědět zprávou PONG.
- REGREL (Registration Release) – K odstranění registračního záznamu. Odpovědí na požadavek může být REGAUTH, která vyžaduje ověření, nebo zpráva REGACK, která potvrdí odstranění záznamu registrace.
- REGREQ (Registration Request) – tato zpráva je zaslána při registraci. Obsahuje uživatelské jméno a dobu vypršení registrace. Odpověď REGACK znamená její akceptování, případně REGREJ odmítnutí.
- TRANSFER - přepojení hovoru
- UNHOLD – Pokud je pozastavena komunikace pomocí HOLD, zpráva UNHOLD tuto komunikaci restartuje [9].

4.2 IAX odpovědi

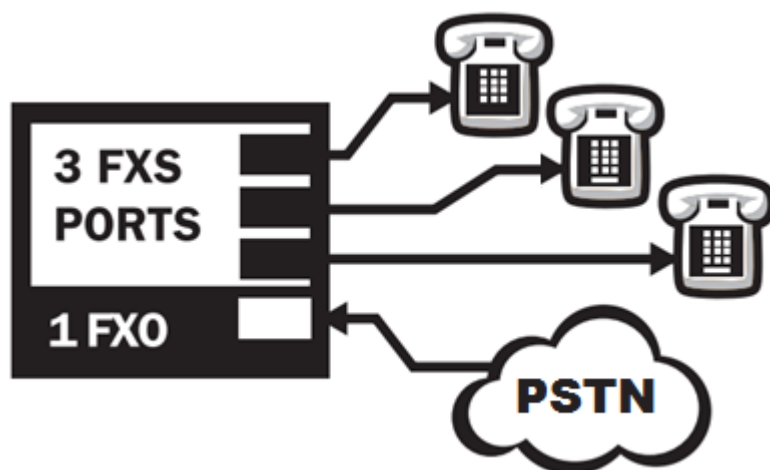
- ACCEPT – Jedná se o akceptování žádosti o sestavení hovoru. Naznačuje použití kodeku pro výměnu médií. Zvolený kodek musí být podporován vzdáleným peerem.
- ACK (Acknowledgement) – Slouží pro potvrzení přijetí zpráv.
- ANSWER – Zpráva signalizuje, že je hovor vyzvednut druhou stranou
- AUTHREP (Authentication Reply) – Odpověď na žádost AUTHREQ
- INVALID – Pokud vzdálený peer obdrží tuto zprávu, musí volání ukončit.
- PONG – Odpověď na dotaz PING
- Oznámení uzlu mezi účastníky, že žádost byla poslána třetí straně, ale odpověď nebyla dosud přijata.
- REGACK (Registration Acknowledgment) – Odpověď na dotaz REGREQ určující vypršení časové registrace záznamu. Pokud není specifikován časový limit, je výchozí hodnotou 60 sekund.
- REGAUTH (Registration Authentication) – Pokud je požadována autentizace pro registrační řízení. Je po obdržení REGREQ nebo REGREL odeslána tato zpráva.
- REGREJ (Registration Rejection) - Za účelem zamítnutí žádosti o registraci nebo žádosti o uvolnění.
- REJECT – Tuto Zprávu odesílá vzdálený peer, pokud se rozhodne odmítnout NEW, AUTHREP, DIAL, nebo ACCEPT. Příkladem může být nesouhlas se zvoleným kodekem.
- RINGING – Touto zprávou dává vzdálený peer najevo přijetí žádosti o sestavení hovoru.
- UNSUPPORT – Pokud bude obdržena zpráva, kterou peer nepodporuje, upozorní na to odpovědí UNSUPPORT [9].

4.3 Konfigurace IAX2

Pro systém Asterisk zde hraje důležitou roli soubor *iax.conf*. Adresářem souborů v systému Linux je složka */etc/asterisk*. Stejná tedy jako pro *sip.conf* a většinu dalších potřebných konfiguračních souborů.

5 Analogové připojení

Jeden z možných scénářů propojení Asterisku s PSTN lze realizovat pomocí modulů FXS a FXO. Příkladem je využití analogové karty Digium TDM400P, která obsahuje 4 porty. Tyto porty lze využít podle potřeby jako FXS nebo FXO díky možnosti osazení patřičnými moduly přímo na kartě. Jedno z možných variant použití je zobrazeno na obrázku.



Obr. 5.1: Příklad připojení pomocí analogové karty TDM400P [24].

V tomto případě je karta obsazena třemi moduly FXS, které slouží pro připojení telefonních zařízení. Zároveň do telefonu dodávají potřebné napájení a provádí vyzvánění [24][25].

Pomocí modulu FXO se lze připojit k analogové veřejné telefonní síti, nebo k další pobočkové ústředně [25].

Výhodou použití karty společnosti Digium je naprostá kompatibilita se systémem Asterisk. Nevýhodou je pak vyšší cena tohoto zařízení.

6 ISDN

Digitální síť integrovaných služeb (Integrated Service Digital Network). Díky tomu, že využívala již vytvořené dvou párové spojení, byla dříve v telekomunikacích velice populární. Později však byla postupně vytlačována některou z xDSL technologií a v současnosti se již prakticky nepoužívá. Přesto je stále možno ISDN zařízení v některých internetových obchodech k dostání.

ISDN využívá dvou různých typů připojení, které se liší typem použití a k tomu odpovídající rychlosti.

- Základní přístup BRI (Basic Rate interface) značený 2B+D obsahuje 2 B-kanály 64 kbit/s a jeden D-kanál 16 kbit/s. Slouží k připojení jednotlivých účastníků.
- Primární přístup PRI (Primary Rate interface) obsahuje 30B+D kanálů, tedy 30x64 kbit/s plus D-kanál o kapacitě 64kbit/s. Slouží pro připojení ústředen [11].

Pro přenos hlasu v B kanálu se používá běžné kódování PCM, v Evropě s a-law[11]. Pro přenos dat mohou jednotlivé B-kanály pracovat současně a výsledná rychlost se tak sčítá. Při spojení mezi ústřednou a uživatelem využívá signalizační protokol DSS1. Diplomová práce bude využívat typ připojení PRI mezi ústřednami a pracovat se signalizací CCS.

6.1 Signalizační systém č. 7

Signaling System Number 7 (SS7), nebo též Common Channel Signaling 7 (CCS7, C7)[12]. Jedná se o digitální centralizovanou signalizaci, která je plně oddělena od hovoru. Používá se ve všech mobilních telefonních sítích, v digitálních pozemních telefonních sítích, i pro meziústřednovou signalizaci v analogových pozemních telefonních sítích (POTS)[12]. Pro vytvoření a ukončení hovoru využívá principu zasílání zpráv a v oblasti jako ISDN jej lze považovat za vrchol vývoje systémů signalizace.

Jednotlivé části SS7 jsou hierarchicky rozděleny do čtyř úrovní. Uspořádání bylo navrženo tak aby se co nejvíce podobalo OSI modelu, čemuž odpovídají první dvě vrstvy a částečně vrstva síťová

Fyzická vrstva

Určuje, jaké rozhraní bude použito

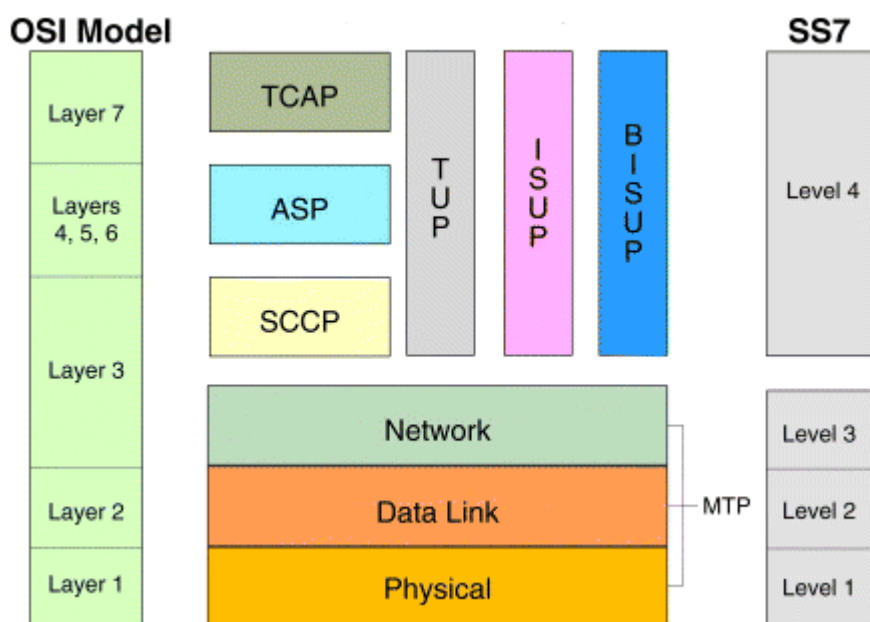
Linková vrstva

Stará se o přenos dat mezi uzly. Využívá sekvenční číslování pro určení, zda-li došlo ke ztrátě zprávy v průběhu přenosu.

Síťová vrstva

Závisí na službách druhé vrstvy. Využívá tři typy zpráv

- Message Discrimination – určuje, komu je zpráva adresována
- Message Distribution – zpracování v místní síti
- Message Routing – je přijata, nejedná-li se o lokální zprávu a poskytuje funkce routování [21].



Obr. 6.1: Srovná modelu OSI a SS7 [21].

TCAP

Transactional Capabilities Application Part – Mezi jednotlivými prvky sítě umožňuje současné vedení několika dialogů

ASP

Application Service Part – poskytuje funkce čtvrté až šesté vrstvy OSI modelu, které jsou v současné době v síti SS7 nutností. Stále je však ve vývoji.

SCCP

Signaling Connection Control Part – je důležitou částí pro směrování zpráv TCAP své vlastní databáze

TUP

Telephone User Part – analogový protokol, který provádí základní služby jako vytočení a odpojení. Přesto, že jej nahradil ISUP, je v některých zemích stále využíván (např. Čína).

ISUP

ISDN User Part – Plní funkci vytvoření a ukončení hovoru mezi koncovými ústřednami. Používá se především v Severní Americe. ISUP je odvozen od TUP, ale podporuje ISDN a inteligentní síťové funkce. Založeno na přenosu zpráv.

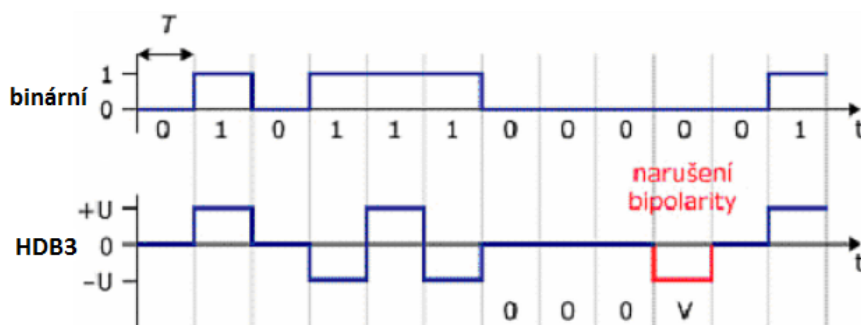
BISUP

Broadband ISUP – další prvek, který postupně nahrazuje TUP a ISUP. Je protokol ATM určen na podporu služeb, jako je televize s vysokým rozlišením (HDTV), vícejazyčné TV, videokonference, vysokorychlostních sítí LAN a multimédií [16].

6.2 Kódování HDB3

Patří mezi linkové bipolární kódy, které jsou používány u digitálních přenosových systémů PCM30/32 (E1) na metalickém vedení.

Logická jednička je vyjádřena střídajícími se impulzy „+B“ a „-B“ a nultá úroveň prezentuje nulu. V případě, že za sebou postupují čtyři a více nul, využívá kódování HDB3 ošetření v podobě narušení bipolarity. Bit, který narušuje polaritu, bývá označován jako Violation (písmeno „V“) [13].



Obr. 6.2: Princip kódování HDB3 [13].

Na obrázku je zobrazen příklad kódování HDB3. Při logické jedničce dochází ke změně stavu polarity. Narušení polarity nastává po průchodu třech po sobě následujících nul. Tímto způsobem se zajistí, že nevznikne stejnosměrná složka přenášeného signálu

6.3 Detekce chyb při přenosu

Označuje se CRC (Cyclic redundancy check) a jedná se o hašovací funkci, která pomocí kontrolního součtu slouží k detekci chyb při přenosu. Bývá odesílán společně s daty, jejichž součet je pak nezávisle spočítán. Pokud se kontrolní součet přijatých dat neliší od odeslaných, byla data doručena neporušena. CRC je vhodný pro zjišťování chyb vzniklých v důsledku selhání techniky [14], proti hackerskému útoku je však potřeba využít některý z kryptovacích algoritmů.

7 Kvalita řeči

Důležitou součástí této diplomové práce bude i vyhodnocení kvality řeči při použití různých principů zapojení. V této kapitole bude popsána teoretická část dostupné metody určené pro toto vyhodnocení. Metod je dostupných hned několik. Tématem zde tedy bude výběr vhodné měřicí metodiky pro téma této práce.

Hlavním prvkem zde bude hrát stupnice kvality řeči, čili MOS (Mean Opinion Score). Jedná se o pětibodový systém s určením známek od jedné do pěti, kde číslo 5 značí vynikající kvalitu hovoru. MOS je definována v doporučení ITU-T P.10, které upravilo terminologii, charakterizovalo a sjednotilo termíny aby zabránilo nejasnostem v interpretaci naměřených výsledků [6]. Následující tabulka obsahuje stupnici kvality MOS.

Tab.7.1: Poslechová stupnice MOS dle ITU-T [6].

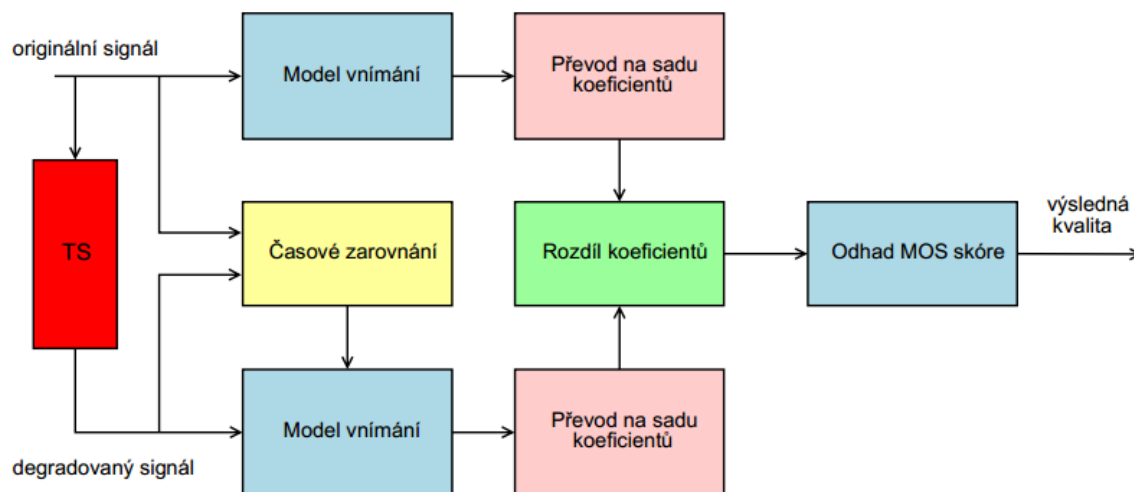
Hodnocení MOS	Úroveň kvality	Typ rušení
5	Vynikající	Neznatelné
4	Dobrá	Rozpoznatelné, neobtěžující
3	Průměrná	Rozpoznatelné, mírně obtěžující
2	Nízká	Obtěžující, vyvinutí úsilí porozumět
1	Špatná	Velmi obtěžující, řeč nesrozumitelná

V roce 2007 bylo navíc vydáno doporučení ITU-T P.800.1, které zamezí nedorozumění v případě hodnocení testů pomocí stupnice MOS [6]. Tato hodnocení jsou dále rozdělena do menších skupin. V této diplomové práci se bude pracovat s jistým nástrojem, který bude popsán dále v kapitole a ze skupiny vybrané metody je popsán jako poslechový objektivní test, neboli MOS-LQO (Mean Opinion Score - Listening Quality Objective).

7.1 Hodnocení kvality řeči intrusivní metodou

Zde bude popsána metoda PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality). Jedná se o intrusivní objektivní metodu určenou k posuzování kvality řeči. Je standardizována v doporučení ITU-T P.862. a také je založena na bázi smyslové domény, takže jednotlivé kroky k určení výsledné kvality řeči se snaží o co možná nejvěrohodnější simulaci lidského smyslového vnímání [7]. Princip měření spočívá v porovnání dvou vzorků, z nichž jeden je originální a druhý degradovaný. Při měření v této práci dochází při záznamu hovoru ke tvorbě zpoždění přibližně pěti vteřin. Tato pauza je způsobena při tvorbě záznamu degradovaného vzorku ve chvíli, kdy dochází k navázání spojení s druhým zařízením skrze síť operátora.

To se může jevit jako problém při porovnávání s originálním vzorkem. Naštěstí je u této metody implementováno časové zarovnání během porovnávání obou vzorků.



Obr. 7.1: *Blokové schéma principu fungování metody PESQ [17].*

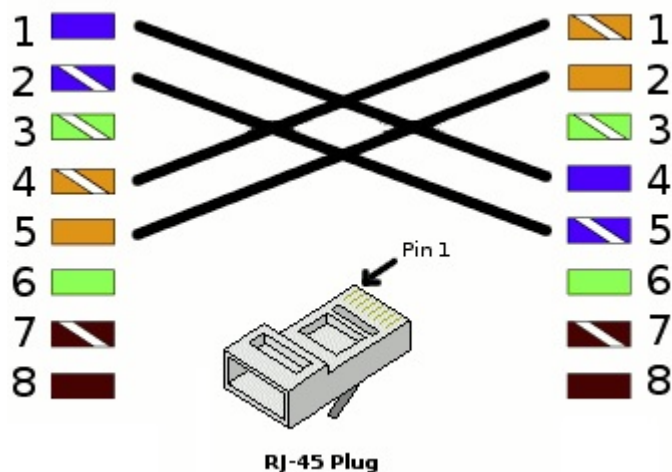
PESQ tedy porovnává kvalitu na základě originálního a degradovaného zvuku a využívá k tomu modelu lidského smyslového vnímání matematickou cestou. Algoritmus reaguje na veličiny zvuku, které jsou strůjcem ovlivňování vnímání kvality signálu hlasu. Při porovnání mezi vzorky se pak pracuje s těmito veličinami a dochází ke snaze odhadnutí úbytku dané kvality [17].

8 Praktické zapojení - ISDN Trunk

Praktická část obsahuje různé způsoby propojení pobočkových ústředěn. První zde popsaný způsob bude využívat připojení pomocí ISDN trunku. Druhá varianta bude tvořit spojení skrze síť mobilního operátora a zároveň bude komunikovat s třetí pobočkovou ústřednou pomocí ethernetová síť využívající IAX2, či SIP trunk. Druhé pracoviště tedy bude daleko rozsáhlejší, čemuž odpoví i rozsah použitých testů.

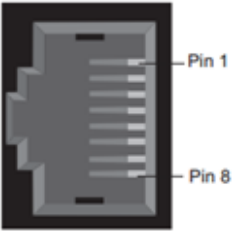
Při této praktické realizaci byly použity dvě karty PRI společnosti Digium, které nabízí plnou kompatibilitu s Asteriskem. Jedná se o kartu TE120P, využívající konektor PCI a TE121, která je přizpůsobena do slotu PCI Express. Původně byla namísto TE121 použita karta společnosti OpenVox TE110P, bohužel zde byly problémy s kompatibilitou připojení mezi nimi. Byly tedy použité karty stejného výrobce. Všechna tato zařízení dokáží pracovat ve dvou rozdílných módech. Pomocí jumperu na kartě volíme použití T1 nebo E1 módu. Pro evropský standard se využívá E1, který je také zvolen. Pokud by byl jumperu odpojen, pracovala by karta v režimu T1, který se využívá v Severní Americe, Japonsku a Jižní Koreji.

Připojení ústředěn pomocí použitých karet se provádí kříženým čtyř vodičovým UTP kabelem a koncovkou RJ-45.



Obr. 8.1: *propojení mezi piny*[18].

Tab. 8.1 *Popis funkčních pinů při použití koncovky RJ-45 [22].*

	Pin		Popis
	1	2	
	3	4	Volný
	5	6	Odesílací
	7	8	Odesílací
			Volný
			Volný
			Volný
			Volný
			Volný

Tabulka popisuje využití pinů. První a druhý slouží k přijímání dat, čtvrtý a pátý k jejich odesílání. Ostatní piny se nepoužívají.

8.1 Instalace zařízení

Realizace ústředny spočívá v instalaci několika potřebných balíčků ještě před zahájením instalace samotného Asterisku. Jedná se o soubory ovladačů těchto zařízení komunikujících s Asteriskem. Jako distribuce Linuxu je zvoleno Ubuntu 12.04 a návod vychází z knihy Asterisk: The Definitive Guide (4. vydání).

V první řadě je nutné systém aktualizovat:

```
# apt-get update && sudo apt-get upgrade && sudo reboot
```

Po restartování počítače jsou zavedeny balíčky důležité pro chod instalace:

```
# sudo apt-get install build-essential subversion \
libncurses5-dev libssl-dev libxml2-dev libsqlite3-dev \
uuid-dev vim-nox
```

Nyní je možné instalovat ovladače karet DAHDI a knihovnu pro práci s ISDN (PRI a BRI).

Postup musí být v tomto pořadí:

- DAHDI
- LibPRI
- Asterisk

8.1.1 DAHDI:

Aktuální verze je získána příkazem wget:

```
# wget http://downloads.asterisk.org/pub/telephony/dahdi-linux-complete/dahdi-linux-complete-current.tar.gz
```

Následuje rozbalení souboru na disk počítače:

```
# tar -zxvf dahdi-linux-complete-current.tar.gz  
# cd dahdi
```

Soubor je zkompileován pomocí příkazů:

```
# make all  
# make install  
# make config
```

8.1.2 LibPRI

Opět následuje stažení souboru pomocí příkazu wget z adresy:

```
# wget http://downloads.asterisk.org/pub/telephony/libpri/libpri-1.4-current.tar.gz
```

Rozbalení souboru je provedeno stejným příkazem:

```
# tar -zxvf libpri-1.4-current.tar.gz  
# cd libpri
```

A následuje jeho kompilace:

```
# make  
# make install
```

8.1.3 Asterisk

Po stažení souboru

```
# wget http://downloads.asterisk.org/pub/telephony/asterisk/asterisk-1.8-current.tar.gz
```

Přichází rozbalení:

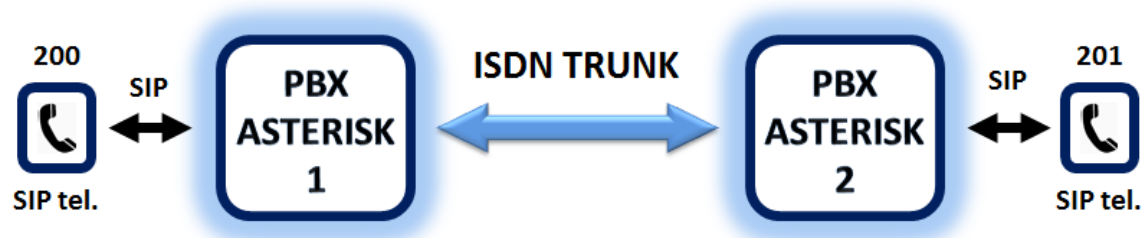
```
# tar -zxvf asterisk-1.8-current.tar.gz  
# cd asterisk
```

Následuje kompilace:

```
# ./configure  
# make  
# make install  
# make config
```

V tuto chvíli je nutné počítač restartovat. Po jeho spuštění budou zavedeny všechny potřebné knihovny a je možné přistoupit ke konfiguraci obou ústředen. Blokové schéma zapojení je na následujícím obrázku.

8.2 Konfigurace ústředen



Obr. 8.2: Blokové schéma propojení ústředen.

Pracoviště obsahuje dvě pobočkové ústředny, které jsou propojeny pomocí primárního přístupu označeného jako PRI. Ke každé z těchto ústředen je připojen softwarový telefon pomocí protokolu SIP s volbou vytočení 200 a 201. Počítače jsou vybaveny kartami společnosti Digium s označením TE120P s instalací do portu PCI a TE121, která se připojuje do portu PCI Express.

8.2.1 PBX Asterisk 1:

Nejprve je nutné nakonfigurovat samotnou kartu, jejíž nastavení se provádí v souboru */etc/dahdi/system.conf*.

```
span=1,1,0,ccs,hdb3,crc4  
bchan=1-15,17-31  
dchan=16  
echocanceller=mg2,1-15,17-31
```

```
loadzone = cz  
defaultzone = cz
```

První číslovka spanu udává číslo portu. Použitá karta je jednoportová, nastaví se tedy 1. Druhé číslo udává časovou synchronizaci, zde jsou tři možnosti.

- 0 – Karta bude využívat interní hodiny.
- 1 – Synchronizaci se provádí z tohoto portu.
- 2 – Pokud je k dispozici více portů a synchronizace na předchozím portu s hodnotou nastavenou na 1 selže, převezme synchronizaci tento port[10].

Další číslo je výkonovou úrovní signálu, zde je nastavena 0.

Typem signalizace je zvolena CCS, kódování HDB3 a použití kontrolního součtu CRC4, které je pro rozhraní E1 typické. Použité datové kanály jsou označeny jako „bchan“, ty jsou nastaveny na 1-15 a 17-31. Pro signalizaci (dchan) je tedy zvolen 16. kanál. Nastavením hodnot loadzone a defaultzone se udává typ oznamovacího tónu, zde je hodnota nastavena pro Českou republiku. Pro nové načtení konfigurace se použije příkaz:

```
# service dahdi restart
```

V tuto chvíli začíná karta signalizovat pomocí červené diody o současném stavu připojení. Tato dioda udává, že karta není připojena ke vzdálenému konci, což je v pořádku, jelikož není provedeno nastavení druhé ústředny.

Zbývá nastavit konfigurační soubor Asterisku chan_dahdi.conf a dialplán.

etc/asterisk/chan_dahdi.conf

[channels]

```
group = 11
signalling = pri_cpe
switchtype = euroisdn
channel = 1-15,17-31
context = default
```

Zde se jedná o naprosto základní nastavení, bez kterého se tato konfigurace ústředny neobejde. Zvolené kanály 1-15,17-31 budou pracovat pod zvolením skupiny 11 (tedy group = 11). Signalling pracuje v režimu „master“ nebo jako „slave“. Volba *pri_cpe* představuje slave a roli master tedy zastává ústředna číslo dvě pomocí volby *pri_net*. Metoda switchtype je nastavena pro euroisdn. Konfigurace v dialplánu se bude provádět v kontextu default.

Pro testování ústředny je navíc vytvořeno připojení účastníka pomocí protokolu SIP. Díky tomu je možné využitím softwarového telefonu navázat komunikaci s vytvořenou ústřednou. Nastavení se provádí v souboru sip.conf.

etc/asterisk/sip.conf

```
[200]
type=friend
context=default
callerid=200
secret=heslo
host=dynamic
disallow=all
allow=alaw
```

Zde je použito základní nastavení, které je pro testování ústředny dostačující. Uživateli je přiděleno jednoduché jméno a heslo, pod kterým se bude registrovat. Hodnota *type = friend* zajistí obousměrnou komunikaci. Položkou *host = dynamic* říká, že se IP adresa telefonu určí z registrace. Definováním možnosti *disallow=all* vypneme předešlá nastavení kodeků a příkazem *allow* volíme právě ty kodeky, které chceme použít. Zde je použit kodek G.711 jako alaw, což je označení typu komprese kodeku užívaného v Evropě a Austrálii. V severní Americe a Japonsku by to byl ulaw.

Nastavení dialplánu je následující:

etc/asterisk/extensions.conf

```
[default]
```

Pomocí tohoto příkazu bude možné vytočit uživatele s číslem 200, který je připojen pomocí softwarového SIP telefonu.

```
exten => 200,1,Dial(SIP/200)
```

Telefonní čísla 888 a 0596995555 slouží pro otestování vytvořené ústředny. Pokud tedy ze SIP telefonu „vytočím“ jedno z těchto čísel, ústředna přijme hovor, na který odpoví zvukovým souborem a v tomto případě hláškou „Hello, world!“. Stejným způsobem se ústředna ohlásí, přijde-li požadavek na volání těchto čísel z protější ústředny.

```
exten => 888,1,Answer()
exten => 888,n,Playback(hello-world)
exten => 888,n,HangUp()
```

```
exten => 0596995555,1,Answer()
exten => 0596995555,n,Playback(hello-world)
exten => 0596995555,n,HangUp()
```

Pro volání druhé ústředny bude použito vytvořeného ISDN trunku. Při volbě čísla 222 bude požadavek odeslán pomocí instalované E1 karty na skupinu G11, pod kterou spadají všechny komunikační kanály této karty. Na druhé ústředně je tomuto číslu přiřazena volba Answer a jako v předchozím případě zazní hláška „Hello, world!“. Tím se ověří správnost konfigurace obou ústředen. Při vytočení čísla 201 bude postup stejný, s tím rozdílem, že bude volán SIP uživatel druhé ústředny.

```
exten => 222,1,Dial(DAHDI/G11/${EXTEN})
exten => 201,1,Dial(DAHDI/G11/${EXTEN})
```

8.2.2 PBX Asterisk 2

Nastavení druhé ústředny je ve spoustě bodech identické, i přesto se zde vyskytují patrné rozdíly.

```
/etc/dahdi/system.conf
```

```
span=1,0,0,ccs,hdb3,crc4
bchan=1-15,17-31
dchan=16
echocanceller=mg2,1-15,17-31
```

```
loadzone = cz
defaultzone = cz
```

První změnou je hodnota druhého čísla z jedničky na nulu. Tato ústředna bude v roli master a využívá proto také interní hodiny, pomocí níž se bude synchronizovat první ústředna. Ostatní volby zůstávají stejné jako v předchozím případě. Použitím následujícího příkazu se provede načtení nové konfigurace:

```
# service dahdi restart
```

V tuto chvíli začne zelená LED dioda signalizovat úspěšnou synchronizaci s protější ústřednou. Pokud by svítila červeně, znalo by to odpojení, či špatně vytvořený propojovací kabel. Je tedy možné pokračovat v konfiguraci samotného Asterisku souborem:

etc/asterisk/chan_dahdi.conf

[channels]

```
group = 11
signalling = pri_net
switchtype = euroisdn
channel = 1-15,17-31
context = default
```

V souboru chan_dahdi.conf je potřeba nastavit hodnotu signalling jako pri_net. To zajistí zvolení ústředny jako master, zbylá nastavení zůstávají neměnná.

etc/asterisk/extensions.conf

[default]

Pokud budu volat protější ústřednu, vytočím hodnotu 059699, za které dosadím další čtyři číslovky. Na ústředně číslo 1 je už vytvořena volba s hláškou „Hello, world!“ na čísle 0596995555, doplním tedy 5555. Pokud ústředna touto hláškou zareaguje, vše je správně nakonfigurováno.

```
exten => _059699XXXX,1,Dial(DAHDI/G11/${EXTEN})
```

Hovor na číslo 888 zastává stejnou funkci, s tím rozdílem, že na místo hlásky „Hello, world!“ bude spuštěn připravený soubor typu wav. Bude tedy přehrán zvukový záznam mluvící osoby na protější ústředně. Přímo na této ústředně bude pomocí příkazu MixMonitor hovor uložen. To později poslouží k porovnání hlasové kvality.

```
exten => 888,1,Answer()
exten => 888,n,MixMonitor(zaznam.wav)
exten => 888,n,Dial(DAHDI/G11/${EXTEN})
```

Pomocí tohoto příkazu bude vytočen SIP telefon na protější straně

```
exten => 200,1,Dial(DAHDI/G11/${EXTEN})
```

Volání SIP uživatele připojeného k této ústředně.

```
exten => 201,1,Dial(SIP/201)
```

Volba s číslem 222 slouží k ověření komunikace s touto ústřednou.

```
exten => 222,1,Answer()
exten => 222,n,Playback(hello-world)
exten => 222,n,HangUp()
```

Při nastavování souboru „*/etc/dahdi/system.conf*“ je možné využít příkaz pro automatickou konfiguraci připojených karet k počítači *dahdi_genconf*. Ten vytvoří soubor se stejným nastavením, jako je zde popsáno, pouze je nutné změnit *loadzone* a *defaultzone*, které jsou při této metodě nastavení zvoleny pro spojené státy.

Konfigurace ústředny je v tuto chvíli kompletní a je možné navázat komunikaci z jednoho telefonu na druhý a opačně. Záznamem hovoru bude získáno dostatečný počet wav souborů ke zjištění kvality přenosu hlasu.

8.3 Kvalita hovoru

Při testování kvality přenosu hlasu pomocí ISDN trunku jsou postupně odebírány vzorky pomocí již zmíněné aplikace MixMonitor, která je součástí Asterisku. Ze softwarového SIP telefonu (použitá aplikace MicroSip) je vytáčená první pobočková ústředna, na níž je umístěn testovací wav soubor. PBX Asterisk 2 před vytočením první ústředny spustí záznam hovoru a vytvoří tak druhý soubor ve formátu wav. Tyto soubory jsou pak následně porovnány pomocí aplikace navržené Mezinárodní telekomunikační unií, neboli ITU (International Telecommunication Union). Tuto aplikaci je možno získat na webové adrese

<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862-200511-I!Amd2/en>

a to hned v několika jazycích.

Instalace aplikace v Linuxu (Ubuntu 12.04) započne stažením instalačního balíčku a otevřením rozbalené složky.

```
# cd P862_annex_A_2005_CD
```

Zde je obsažen podadresář *source*, který je potřeba otevřít.

```
# cd source
```

Tímto příkazem bude provedena instalace:

```
# gcc -o PESQ *.c -lm
```

Software je připraven a je možné přistoupit k samotnému testování.

Pomocí vytvořené ústředny bylo získáno celkem 30 hovorových záznamů a každý z nich je aplikací porovnán. Hodnoty jsou zaznamenány ve výsledné tabulce, kterou je možné otevřít pomocí aplikace MS Excel, v níž bude vypočítán celkový průměr dosažených výsledků.

Samotné záznamy, včetně originálního souboru je potřeba uložit do složky „/P862_annex_A_2005_CD/conform“, dále v terminálu tuto složku otevřít a zadat příkaz:

```
# ../source/PESQ +8000 original.wav degradovany.wav
```

Tím začne porovnání originálního vzorku s degradovaným. Výpis v terminálu pak zobrazen na následujícím obrázku.

```
*****
* OPTICOM GmbH                               * Psytechnics Limited                       *
* Naegelsbachstr. 38,                       * Fraser House, 23 Museum Street, *
* D- 91052 Erlangen, Germany                * Ipswich IP1 1HN, England        *
* Phone: +49 (0) 9131 53020 0               * Phone: +44 (0) 1473 261 800     *
* Fax:   +49 (0) 9131 53020 20              * Fax:   +44 (0) 1473 261 880     *
* E-mail: info@opticom.de,                  * E-mail: info@psytechnics.com,   *
* www.opticom.de                           * www.psytechnics.com            *
*****

Reading reference file orig.wav...done.
Reading degraded file rec0001...done.
Level normalization...
IRS filtering...
Variable delay compensation...
Acoustic model processing...

P.862 Prediction (Raw MOS, MOS-LQO):  = 4.347   4.449   _
```

Obr. 8.3: Výpis výsledku hodnoty MOS pomocí PESQ aplikace v Linuxovém terminálu

Program vykazuje dvě hodnoty výsledku, PESQ-MOS a MOS-LQO. Pro získání dat využijeme z obou těchto hodnot. V současné době je doporučeno vycházet z druhé hodnoty, kterou je MOS-LQO, jenž má hodnoty udávané stupnicí od 1 do 5, kdežto PESQ-MOS vychází z hodnot -0,5 do 4,5. Přesto do výsledných grafů postačí zakomponovat PESQ-MOS. MOS-LQO (Mean Opinion Score - Listening Quality Objective) představuje poslechové srovnání kvality. Tímto způsobem je kontrolován každý vzorek zvlášť a výsledkem je kompletní tabulka hodnot, která je zobrazena níže.

Tab. 8.2: Zkrácená verze tabulky výpisů výsledků měření kvality hlasu

REFERENCE	DEGRADED	PESQMOS	MOSLQO	SAMPLE_FREQ	MODE
orig.wav	rec0000	4,347	4,449	8000	nb
orig.wav	rec0001	4,347	4,449	8000	nb
orig.wav	rec0002	4,347	4,449	8000	nb
...
...
...
orig.wav	rec0029	4,347	4,449	8000	nb

Sloupec reference obsahuje název originálního souboru, degradovaný vzorek je ve sloupci druhém. Další obsahují výslednou hodnotu včetně typu použité frekvence wav souboru, což činilo 8 kHz. Všechny hodnoty vykazovali stálou hodnotu a výsledek je tedy jednoznačný.

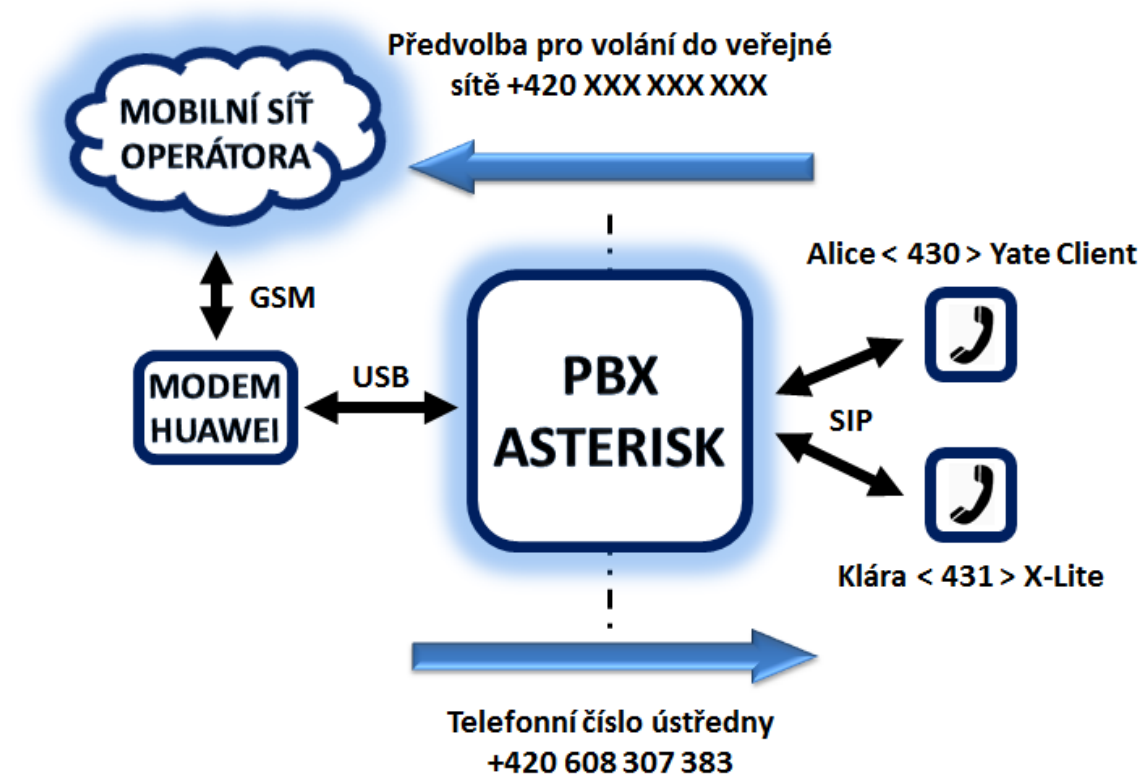
PESQMOS: 4,347

MOSLQO: 4,449

Podle stupnice kvality řeči MOS je výsledná známka mezi 4 a 5 tedy téměř největší hodnota s neznatelným rušením. Samozřejmě by bylo možné využít aplikace pro zavedení různých zpoždění mezi ústřednami, či ztrátovost paketů v určitém rozsahu a měřit tak výslednou závislost na kvalitě přenosu. Zadáním ale této diplomové práce jsou však možnosti připojení Asterisku na různých rozhraních a bylo by to tedy odbočení od tématu.

9 Připojení do sítě mobilního operátora

Jedním ze scénářů propojení v této diplomové práci je spojení s veřejnou telefonní sítí. V tomto případě jsem zvolil použití USB modemu, který tradičně slouží pro přenos dat v síti mobilního operátora a upravil jej pro možnost přenosu hlasu pomocí služby GSM. Blokové schéma připojení popisuje následující obrázek.



Obr. 9.1: Blokové schéma připojení do sítě GSM

Z obrázku je patrné, že pro dané testování byly použity dva SIP telefony. V tomto případě se jedná o softwarová řešení určená pro operační systém Windows. První s telefonů prezentuje aplikace s názvem „Yate Client“, druhým je populární „X-Lite“. V obou případech se jedná o programy dostupné zdarma. Pobočkovou ústřednu mezi těmito telefony tvoří linuxová distribuce Ubuntu 12.04, na které je nainstalován Asterisk verze 1.8. Propojení mezi telefony a veřejnou telefonní sítí zajišťuje zařízení Huawei E173. Telefony SIP komunikují mezi sebou s volbou vytočení 430 a 431, pokud je ale na jednom z telefonů vytočena předvolba +420 ústředna tento hovor směřuje na zařízení Huawei, které zařídí spojení s příslušným volaným číslem.

9.1 Instalace USB modemu

Samotné USB zařízení není vytvořeno za účelem volání, nýbrž pro využití připojení k internetu poskytované mobilním operátorem. Proto je z výroby tato možnost automaticky zablokována. Je tedy nutné funkci volání odblokovat. Pro tento případ jsou k dispozici aplikace, které zařízení odblokuje.

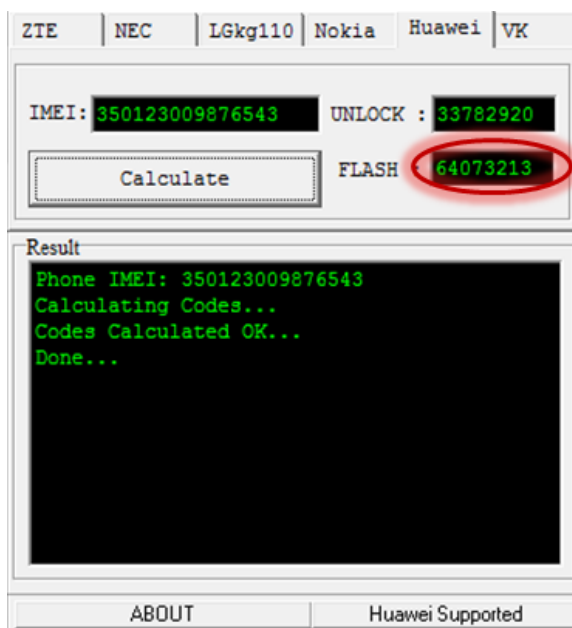
9.1.1 Stažení firmwaru

Po navštívení webových stránek (<https://www.dc-unlocker.com/>) vybereme zařízení určené k aktualizaci. V tomto případě se jedná o Huawei E173 a je stažen patřičný firmware. Instalace pak následuje v prostředí Windows pomocí jednoduchého instalátoru. Bohužel při pokusu o aktualizaci dojde k chybě a zařízení nový firmware odmítá, je to pojistka ze strany Huawei instalovat do zařízení neoficiální ovladač. Toto bezpečnostní opatření ale vyžaduje pouze heslo pro umožnění aktualizace. To funguje na principu vygenerování klíče pomocí IMEI kódu samotného zařízení. Je tedy nutné heslo zjistit.

9.1.2 Získání aktivačního kódu

Pro získání tohoto hesla je k dispozici aplikace, která pomocí IMEI kódu Huawei zařízení zjistí požadované heslo pro nahrání neoficiálního firmwaru. Program se jmenuje Universal MasterCode Calculator a je k dispozici na webové stránce:

<http://huaweifirmwares.com/download/universal-master-code-calculator-download/>



Obr. 9.2: Aplikace, která dokáže zjistit přístupové heslo pro instalaci firmware

V aplikaci je k výběru několik zařízení, se kterými dovede program pracovat, zde je zvolena položka Huawei. Zařízení nemusí být připojeno k počítači. Po zadání IMEI čísla modemu a stiskem volby calculate vygeneruje aplikace požadované heslo. To je zvýrazněno červeně (kolonka FLASH). Tento kód je tedy nutné vepsat do aplikace popsané výše při aktualizaci firmwaru, ta po tomto zapsání započne. Nyní je zařízení připraveno vytáčet a přijímat hovory, je tedy možné sloučit tyto služby s Asteriskem.

9.1.3 Zavedení USB modulu do systému Asterisk

Potřebný soubor pro tuto instalaci se nachází na webových stránkách code.google.com. Získat ho je tedy možné pomocí příkazu `wget`.

```
# wget http://code.google.com/p/asterisk-chan-dongle/downloads/detail?name=chan_dongle-1.1.r14.tgz&can=2&q=
```

Následuje rozbalení

```
# tar -zxvf chan_dongle-1.1.r14.tgz
```

Kompilace

```
# cd chan_dongle-1.1.r14
# ./configure
# make
# make install
```

V tuto chvíli jsou zdrojové kódy USB modemu „spárovány“ s Asteriskem. Samotná konfigurace tohoto modemu se provádí v souboru *dongle.conf*, který se nachází ve složce „*/etc/asterisk*“. Při použití výše popsaného postupu se samotný soubor v tomto adresáři nenachází, je tedy nutné umístit ho zde ručně z rozbalené složky „*chan_dongle-1.1.r14/etc*“. Stejně tak pro vyzkoušení můžeme z této složky použít i vzorový soubor *extensions.conf*. Nutností je mít v této složce ještě soubor *modules.conf*, bez něj nebude Asterisk schopen načíst náš modul, čili s ním nebude schopen pracovat.

V tomto souboru si také volíme, které moduly budou při spuštění Asterisku spuštěny. Můžeme tedy některé deaktivovat. Při konfiguraci této ústředny byla použita jednoduchá konfigurace o dvou řádcích, které je pro vyzkoušení ideální.

```
[modules]
autoload=yes
```

S příkazem `autoload` budou všechny moduly automaticky načteny.

Testování modulu probíhá v CLI Asterisku. Po zadání příkazu „*asterisk -rvvv*“ do terminálu Linuxu.

```
CLI> module load chan_dongle.so
CLI> module unload chan_dongle.so
CLI> module reload chan_dongle.so
```

Příkaz load je nutné použít v případě, že není modul spuštěn, to by znamenalo špatné nastavení souboru modules.conf. Základní vlastnosti jsou získány příkazem.

```
CLI> dongle show devices
```

Ten ukáže základní informace o modemu, použité kartě SIM a verzi firmwaru.

```
CLI> dongle show device state dongle0
```

Zde je popis podrobnější, včetně výkazu o síle signálu.

9.2 Konfigurace ústředny

Základem je upravení souboru dongle.conf, jehož základní nastavení je triviální.

/etc/dahdi/dongle.conf

```
[dongle0]
audio=/dev/ttyUSB1
data=/dev/ttyUSB2
context=default
exten+=+420603498238
```

Konfigurační soubor je v podstatě připraven k použití, jedinou podmínkou je dosazení telefonního čísla SIM karty, zbylá nastavení se už provádí v dialplánu.

SIP uživatelům byla přidělena jména Alice s číslem 430 a Klára 431

Nastavení dialplánu je následující:

/etc/dahdi/extensions.conf

```
[from-sip]
```

SIP uživatelé Alice a Klára

```
exten => 430,1,Dial(SIP/alice)
exten => 431,1,Dial(SIP/klara)
```

Tento příkaz přemísťuje hovor směrem na modem (dongle0), odkud směřuje do sítě operátora

```
exten => _+420X.,1,Dial(Dongle/dongle0/${EXTEN})
```

V tomto kontextu je umístěno nastavení pro příjem hovoru směrem od operátora, který je dále směrován na Klářin telefon. Použité číslo patří kartě SIM.

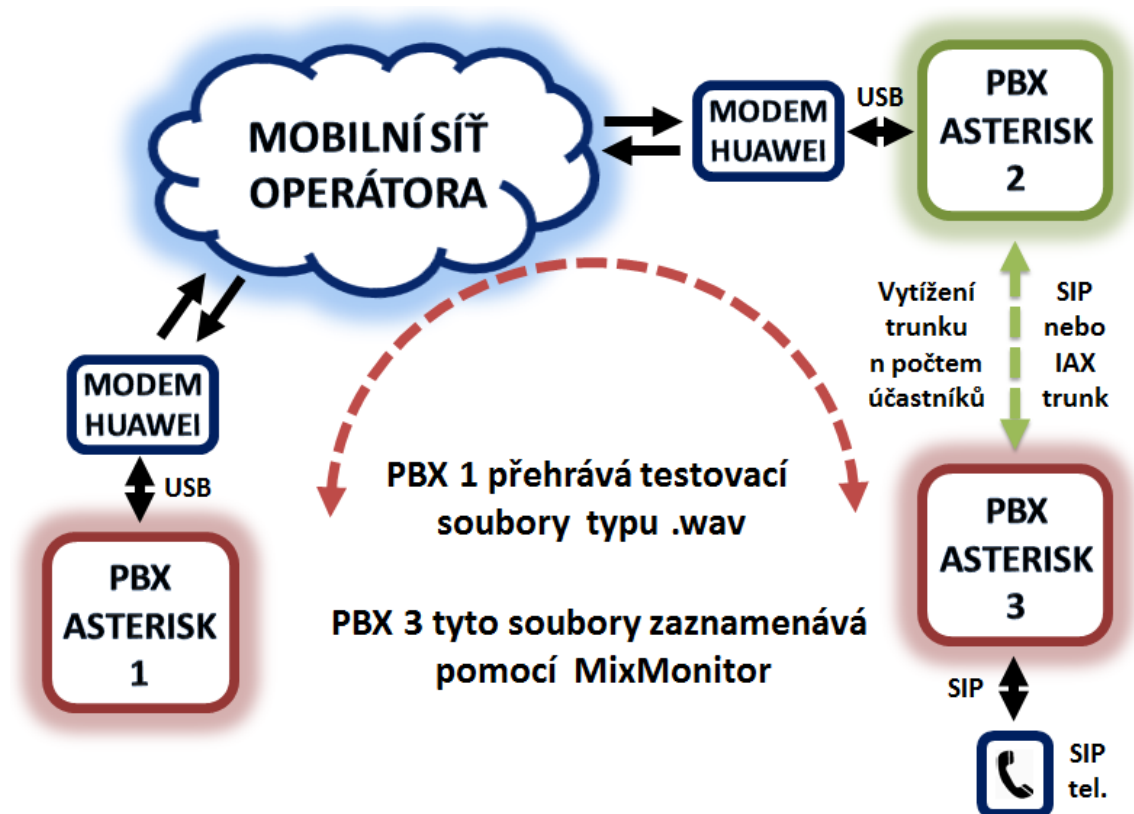
```
[default]
```

```
exten => +420608307383,1,Dial(SIP/klara)
```

Kompletní rozpis dialplánu je o něco rozsáhlejší a zde jsou umístěny pouze nejdůležitější příkazy.

9.3 Testování ústředny

Při tomto testování bylo pracoviště rozšířeno o další zařízení. Jeho součástí je nyní druhá pobočková ústředna se stejným modemem Huawei E173, se kterou komunikuje skrze mobilní síť operátora. Připojena je také k další ústředně, s níž komunikuje pomocí vytvořeného IAX2, nebo SIP trunku. Podrobný popis schématu popisuje obrázek.



Obr. 9.3: Blokové schéma měřicího pracoviště

PBX Asterisk 1 by bylo možné nazvat zrcadlem. Právě zde jsou totiž umístěny důležité zvukové soubory, které průchodem veřejné telekomunikační sítě „ztrácejí původní hodnotu“. Na straně druhé označena také rudou barvou je umístěna PBX Asterisk 3, kde dochází k záznamu těchto hovorů. Díky tomu je možné pracovat se dvěma odlišnými zvukovými soubory, které budou později porovnány, respektive vyhodnoceny podle platné stupnice kvality hovoru MOS. Tato ústředna má také navíc za úkol zatěžovat další zařízení, které tvoří „srdce“ pracoviště a spolu tak tvoří „páteřní síť“ místní sítě. PBX Asterisk 2 se tedy stará o „přemostění“ hovoru mezi ústřednami. Z jedné strany komunikuje pomocí modemu s první ústřednou a s PBX 3 komunikuje skrze LAN. Vzhledem ke stáří zařízení probíhá LAN komunikace při rychlosti 100Mb/s. Mezi těmito ústřednami není připojeno žádné aktivní zařízení (domácí router aj.), ale jsou propojeny přímo.

Konfigurace prvního Asterisku je stejná jako v předchozím případě, zůstává zmínit nastavení trunku mezi PBX2 a PBX3, čili nastavení souboru iax.conf a sip.conf.

PBX2

/etc/dahdi/sip.conf

```
[PBX3]
type=peer
host=192.168.1.2
context=from-sip
username=PBX2
secret=heslo
```

/etc/dahdi/iax.conf

```
[PBX3]
type=friend
host=192.168.1.2
context=default
username=PBX2
secret=heslo
trunk=yes
```

PBX3

/etc/dahdi/sip.conf

```
[PBX2]
type=peer
host=192.168.1.1
context=from-sip
username=PBX3
secret=heslo
```

/etc/dahdi/iax.conf

```
[PBX2]
type=friend
host=192.168.1.1
context=default
username=PBX3
secret=heslo
trunk=yes
```

9.4 Zatížení trunku

Při testování kvality hovoru v místní síti vytvořené trunkem SIP či IAX, bude v této části vytěžována linka mezi PBX2 a PBX3 paralelním připojením n počtem datových streamů. K tomuto účelu poslouží nástroj Iperf, který slouží pro testování datové propustnosti sítě. Iperf je ideální už jen v tom, že dokáže simulovat n počet současně běžících dat, jakoby to byly uživatelé pracující s daty a těm zvolit šířku potřebného pásma. Tedy pokud se rozhodnu simulovat 10 účastníků využívající stejnou síť pro komunikaci VOIP, nastavím tento počet účastníků a potřebnou rychlost (zde velmi záleží na volbě kodeku, který při průchodu sítí hraje největší roli). Při zadání rychlosti přenosu je ale důležité připočítat i celkovou režii přenosu. Pro příklad použití kodeku G.711, který pracuje s náročností 64 kb/s je nutné počít s přenosovou kapacitou vyšší. Zde hraje roli „nominální ethernetová šířka pásma“, ta je udávána při tomto kodeku 95,2 kb/s. Tato hodnota bude také při použití nástroje Iperf nastavena.

Aplikaci je nainstalována na obě ústředny pomocí repozitáře Ubuntu. Pracuje na principu klient – server.

PBX2 zastane funkci serveru pomocí příkazu:

```
# iperf -s -u -P 10
```

- *s* - znamená, že počítač je serverem
- *u* - bude použit transportní protokol UDP
- *P 10* – nastaví počet streamů na 10

PBX3 obsahuje klientskou část:

```
# iperf -c 192.168.14.1 -P 10 -b 95.2k -t 500
```

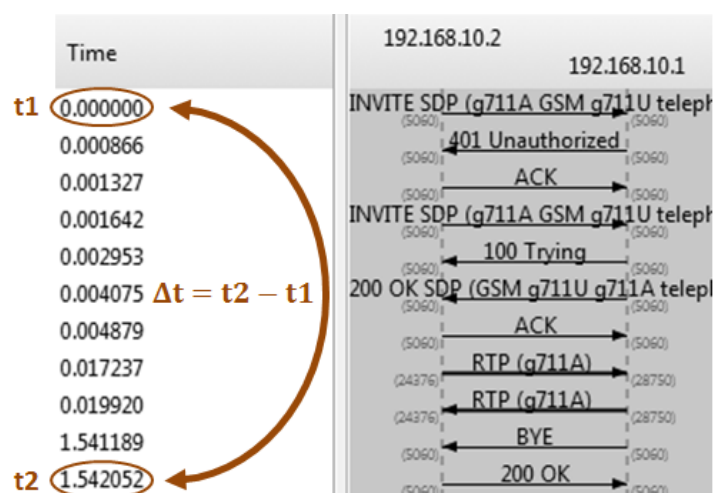
- *c 192.168.14.1* – IP adresa odkazuje k zařízení, na němž je spuštěna serverová část
- *P 10* – nastaví počet streamů na 10
- *b 95.2k* – datová náročnost pro každý stream
- *t 500* – čas, po kterou bude test spuštěn v sekundách

Alternativou ke službě Iperf je aplikace JPerf, která je grafickou nástavbou této služby. Spouští se ale jako samostatná aplikace, což v linuxových systémech při práci v terminálu nemusí být zrovna na místě. Na druhou stranu si lze díky této aplikaci ověřit propustnost sítě pod operačním systémem Windows.

Nejprve byla měřena kvalita spojení pouze mezi PBX2 a PBX3 včetně sledování vznikajícího zpoždění mezi odpovědí a žádostí protokolů SIP a IAX.

9.4.1 Závislost zpoždění SIP a IAX při zátěži mezi PBX2 a PBX3.

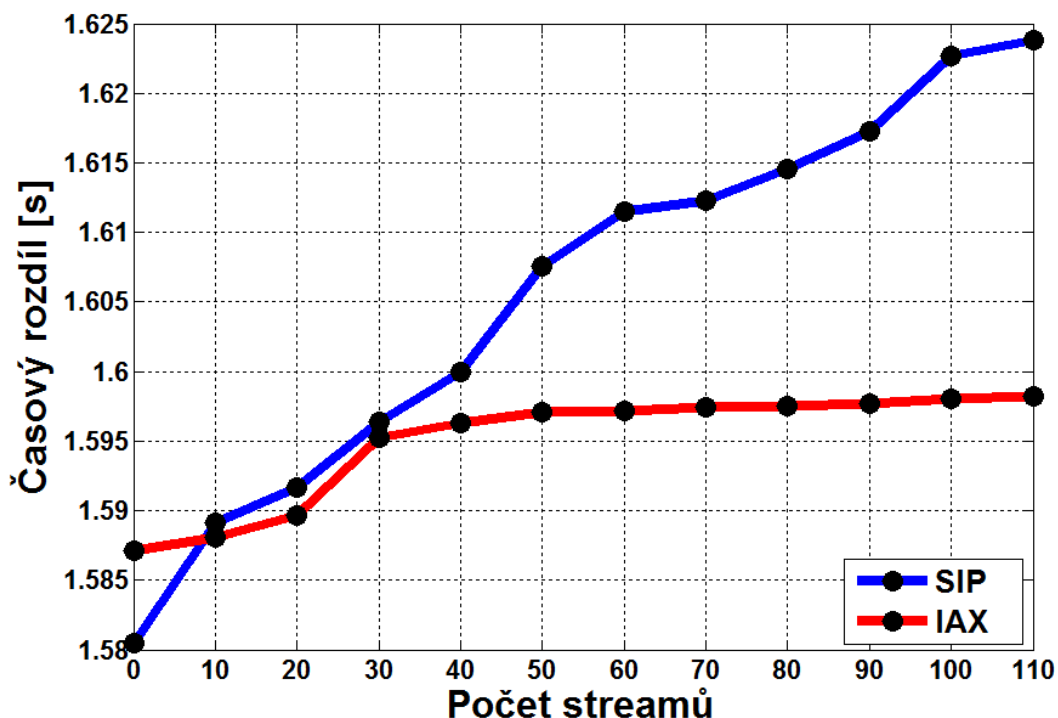
Při tomto měření byl použit Wireshark, který dokáže po zachycení přenesených dat skrze port síťové karty zobrazit detailní popis sestavení a ukončení VOIP komunikace. V případě spojení pomocí SIP vypadá rozpis následovně:



Obr. 9.4: Zjištění časových rozdílů mezi sestavením a ukončením hovoru aplikací Wireshark

U každého přenosu byl tedy spočítán rozdíl mezi započítáním sestavení hovoru, až po jeho ukončení. Dialplán byl nastaven tak, aby po zvednutí hovoru zareagoval hláškou „Hello, world!“ a poté přenos okamžitě ukončil. Velikost zátěže vzrůstala počtem streamů s hodnotami od 0 po 110 s krokem 10 a každý krok byl proveden celkem 5x. Ze všech pěti vzorků byla následně vypočítána průměrná hodnota Δt . Obrázek je příkladem SIP spojení, u protokolu IAX bylo postupováno stejným způsobem.

Výsledek měření ukazuje následující graf vytvořený aplikací MatLab.



Obr. 9.5: Graf vývoje zpoždění SIP a IAX při změně počtu streamů.

V případě SIP trunku se časové rozdíly zvětšují pozvolna a ne příliš velkými rozdíly, nedochází zde tedy k velkým skokům. Průměrná hodnota při nulové zátěži byla 1,580 sekund. Při vytižení počtem 110 streamů to už činilo 1,624 sekund. Celkový rozdíl je tedy 44 ms.

V případě IAX se latence vyvíjela mírnými skoky až po nastavení dvaceti streamů. Mezi tímto počtem a hodnotou třiceti dochází k nárůstu zpoždění 5,5 ms. V tomto bodě se zároveň střetává s hodnotou SIP a dochází ke zmírněné latenčního růstu. V případě IAX se často udává, že se k propojení trunků hodí více, než je tomu u SIP. Podle testů a snášenlivosti počtu současně vytvořených streamů to tak skutečně vypadá i v tomto případě. Minimální hodnotou je 1,587 s a maximální 1,598 s. Celkový rozdíl činí 11 ms a je tedy menší než u SIP.

9.4.2 Kvalita hovoru mezi PBX2 a PBX3

Při použití stejného principu zátěže, které vykazovalo rozdíly při různém počtu streamů, se předpokládalo projevení i v kvalitě přenosu hlasu. Opak byl ale pravdou a kvalita hovoru byla při jakékoliv nastavené zátěži vždy stejná. Zpoždění v podstatě tvořilo časové rozdíly mezi výměnou řídicích zpráv. Nedocházelo tedy ke ztrátě dat při přenosu. Vzorky byly odebírány po 5 a celkově jich bylo 60.

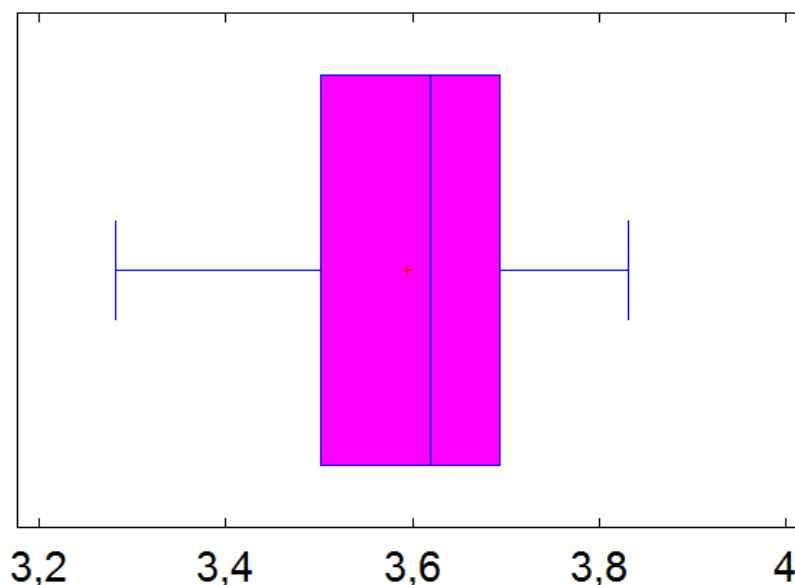
Výsledky u trunku IAX a SIP:

- PESQMOS = 4,355
- MOSLQO = 4,454

9.4.3 Kvalita hovoru skrze mobilní síť operátora

V tomto případě nebyla místní síť nijak vytěžována. Hovor byl odeslán pomocí trunku k pobočkové ústředně číslo 2, která zajistila vytočení čísla PBX1 skrze síť mobilního operátora. Síť byla velice proměnlivá a hodnoty se měnily každým vytvořeným spojením. Na ústředně PBX1 byl připravený wav soubor mluvící osoby a záznam hovoru probíhal na PBX 3. Pro zjištění kvality bylo odebráno 100 vzorků a výsledné hodnoty byly vyhodnoceny aplikací StatGraphic pomocí krabicového grafu.

PESQMOS



Obr. 9.6: Krabicový graf znázorňující výkyvy kvality přenosu při spojení skrze síť GSM

Minimum a maximum zde tvořili hodnoty 3,281 a 3,831, což jsou znatelné rozdíly. Průměrná hodnota je 3,595 (tedy 3,6) a jak již z grafu vyplívá, převažovali hodnoty pod tímto průměrem. Nicméně se stále jedná o čísla spadající do kategorie mírně nad průměrné a je-li tedy rušení částečně rozeznatelné, určitě není obtěžující. Graf MOSLQO není potřeba zobrazovat, vypadal by naprosto stejně, pouze by se změnila stupnice.

10 Shrnutí výsledků

U všech realizovaných připojení, byla tedy prováděna testovací komunikace se záznamem, které posloužili k porovnání kvality hovoru. Výsledky jsou zobrazeny v následující tabulce s hodnotami zaokrouhlenými na dvě desetinná místa.

Tab. 10.1: *Shrnutí výsledků měření kvality hlasu*

Typ připojení	Výsledná hodnota na stupnici MOS
ISDN	4,35
SIP	4,36
IAX	4,36
GSM	3,6

V případě spojení mezi ústřednami pomocí trunku ISDN, SIP, či IAX byly výsledky prakticky totožné a liší se po zaokrouhlení pouze v jedné setině. V těchto případech byl použit kodek G.711, jehož tabulková hodnota představuje číslovku 4,2 a výsledek se tedy příliš neliší. V případě GSM byly výsledky velmi proměnlivé a výsledná hodnota je celkovým průměrem naměřených hodnot. Kvalita GSM je v doporučených tabulkách hodnocena známkou 3,5, čemuž odpovídá i dosažený výsledek měření lišící se pouze v jedné desetinné.

11 Závěr

Diplomová práce popisuje PBX Asterisk tvořící ústřednu mezi různými prvky v síti, spolu s rozpisem nových funkcí, které jsou v něm implementovány v případě nových verzí. Zaměřuje se na internetové signalizační protokoly SIP a IAX, které jsou dnes v síti VOIP nedílnou součástí. Popisuje různé technologie propojení s PSTN, jež některé jsou v této závěrečné práci také realizovány.

První část praktické práce tvoří spojení dvou pobočkových ústředen pomocí ISDN PRI s využitím karet společnosti Digium, která dnes také stojí za vývojem projektu Asterisk. Popisuje správné postupy instalace, včetně funkční konfigurace, spolu s vyskytující se problematikou při této realizaci. U kapitoly je také popsán způsob zjištění kvality řeči, který je použit i u dalších zapojení.

Další část je zaměřena na připojení ústředny Asterisk do sítě mobilního operátora s využitím USB zařízení Huawei, které slouží výhradně pro přístup k mobilnímu internetu. Po menší úpravě ale dokázalo uskutečnit hovory v síti GSM stejně jako mobilní telefon. Toto pracoviště je také rozšířeno o další ústřednu napříč sítí GSM a vytváří tak možnost provádět záznamy hovorů se kterými souvisí zjišťování kvality hovoru. V tomto případě byly výsledky velice proměnlivé a hodnoty jsou zvýrazněny pomocí krabicového grafu, vytvořeného aplikací StatGraphic.

K jedné z těchto PBX je navíc připojená další ústředna, se kterou je spojení navázáno pomocí trunku SIP či IAX. Je tedy možné uskutečnit i hovory v místní síti s využitím těchto protokolů a také zjistit kvalitu hovoru mezi nimi se zvolením správného kodeku. V tomto případě je mezi ústřednami v místní síti zjišťována také časová závislost zpoždění při výměně zpráv, u navazování spojení, pokud je trunk zatížen. Zde posloužila aplikace Wireshark, která dokáže komunikaci zachytit.

U tohoto zpoždění bylo zajímavé sledovat vývoj grafu při posuzování rozdílů mezi IAX a SIP trunku. Přesto že jsou rozdíly udávány jen v milisekundách a tedy i nepříliš výrazně, tak z grafu jsou výsledky patrné a IAX potvrzuje své kvality při použití v síti s vyšším zatížením.

Co se týče použitého modemu Huawei, tak zde byla testována i stabilita připojení zařízení k systému Asterisk. Bylo předpokládáno, že dokáže být připojeno k síti nepřetržitě po dobu tří dnů, kdy dojde k jeho rozpojení se systémem a je nutné USB zařízení restartovat. To se však nepotvrdilo a stabilní provoz vydržel tři týdny. Určitě by vydržel i déle, ale po této době již bylo nutné vrátit vypůjčené prostředky a testování tak ukončit.

Přesto však byla zjištěna schopnost tohoto modemu pracovat i déle než byla předpokládaná doba, což jej vzhledem k ceně umožňuje využít v náročnějším provozu, přinejmenším domácí síti.

Výsledky hodnocení kvality hovoru ze všech připojení jsou následně srovnány v poslední kapitole. Tyto naměřená data odpovídají tabulkovým hodnotám a kompletní záznamy jsou součástí přílohy.

Nyní, díky zvolenému tématu této diplomové práce jsou mé zkušenosti z oblasti možnosti připojení různorodých zapojení o to cennější, spolu s lepším poznáním samotného systému pro tvorbu pobočkových ústředen, ve kterých se Asterisk jeví jako nepostradatelnou součástí tvorby těchto připojení v dnešní době. Tyto znalosti budou také tvořit lepší podmínky pro volbu budoucího povolání.

12 Použité zdroje a literatura

- [1] RUSSELL BRYANT, Leif Madsen. *Asterisk: the definitive guide* [online]. 4th ed. Farnham: O'Reilly [cit. 2013-12-10]. ISBN 978-144-9332-426.
- [2] HDSP. *Gigaset* [online]. 2010 [cit. 2013-10-31]. Dostupné z: http://www.gigaset.com/cs_CZ/information/hdspTM-vyjimecne-inovativni-zvuk.htm
- [3] Asterisk 10: důraz na wideband. *Root.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-10-30]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/asterisk-10-duraz-na-wideband/>
- [4] Asterisk 11 aka WebRTC Edition. *Root.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-10-31]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/asterisk-11-aka-webrtc-edition/>
- [5] Konfigurace Asterisku (2) - Konfigurační soubory. *Telegro.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-11-21]. Dostupné z: <http://www.telegro.cz/2009/03/17/konfigurace-asterisku-2-konfiguracni-soubory>
- [6] FEČU, Radim. *Hodnocení kvality řeči v IP sítích*. Ostrava, 2013. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava.
- [7] DOC. ING. VOZŇÁK, Miroslav, Ph.D. *ZAVEDENÍ HODNOCENÍ KVALITY ŘEČI DO PRAKTICKÉ VÝUKY*. Ostrava, 2011.
- [8] PRAVDA, Ivan. *Internetová telefonie (VoIP) a protokol SIP*. Praha, 2013. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/079.pdf. ČVUT v Praze.
- [9] BOUCADAIR, Mohamed. *Inter-asterisk exchange (IAX): deployment scenarios in SIP-enabled networks*. 1st ed. Chichester: John Wiley, xxi, 251 s. ISBN 978-0-470-77072-6.
- [10] KAPIČÁK, Lukáš a Jiří VYCHODIL. Popis instalace a nastavení ISDN rozhraní. [online]. [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~voz29/team_2007-VoIP-St10.45/isdn.html
- [11] Co je to ISDN ?. [online]. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://www.jch.cz/ISDN.htm>
- [12] Signalizační systém č. 7. [online]. 2014 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Signalizační_systém_č._7
- [13] Přenos digitálního signálu. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://orchard.own.cz/modulace&kody.pdf>
- [14] Cyklický redundantní součet: Cyklický redundantní součet. [Http://cs.wikipedia.org/wiki/Cyklický_redundantní_součet](http://cs.wikipedia.org/wiki/Cyklický_redundantní_součet) [online]. [cit. 2014-04-06].

- [15] ČERVENKA, Marek. Asterisk 12 – New Age. *Root.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/asterisk-12-new-age/>
- [16] NEWTON, Rusty. Configuring res_pjsip. *Wiki.asterisk.org* [online]. 2014 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: https://wiki.asterisk.org/wiki/display/AST/Configuring+res_pjsip
- [17] BRADA, Miloslav a Jan ZELENKA. Posuzování kvality hlasu. [online]. roč. 2008 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: http://www.ip-telefon.cz/archiv/dok_osta/ipt-2008_Posuzovani_kvality_hlasu.pdf
- [18] Straight, Crossover, Rollover cable diagram and explanation. *Cisco* [online]. 2013 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <https://learningnetwork.cisco.com/index.jspa>
- [19] KOVÁŘ, Petr a Karol MOLNÁR. Využití protokolu IAX pro spojení mezi ústřednami. [online]. 2008 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/vyuziti-protokolu-iax-pro-spojzeni-mezi-ustrednami/>
- [20] WIJA, Tomáš, David ZUKAL a Miroslav VOZŇÁK. Asterisk Open source PBX. [online]. č. 2005 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~voz29/files/voz_72.pdf
- [21] SS7 Protocol Stack. Docstore [online]. 2002. vyd. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://docstore.mik.ua/univercd/cc/td/doc/product/tel_pswt/vco_prod/ss7_fund/ss7fun03.htm
- [22] Digium TE120 Series: User Manual. [online]. 2013 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.digium.com/sites/digium/files/digium-te120-series-user-manual.pdf>
- [23] ANTTALAINEN, Tarmo. *Introduction to telecommunications network engineering*. 2nd ed. Boston: Artech House, c2003, xix, 377 p. ISBN 1-58053-500-3.
- [24] *TDM 400P User's Manual* [online]. 2005. vyd. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.digium.com/sites/digium/files/tdm400p-manual.pdf>
- [25] GAURA, Jan a Tomáš HRABÁLEK. Analogová telefonní karta v IP ústředně Asterisk. In: [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.cs.vsb.cz/grygarek/TPS/projekty/0607Z/Asterisk-FXSFXOcard.pdf>

13 Seznam příloh

Příloha A:	Naměřené hodnoty	I-VII
------------	------------------------	-------

Časové rozdíly protokolu SIP mezi ústřednami PBX2 a PBX3

počet streamů	začátek hovoru [s]	Konec hov. [s]	Čas. rozdíl [s]	Celk. průměr [s]
0	0,000876	1,605922	1,605046	
	3,285825	4,894553	1,608728	
	6,389052	7,953216	1,564164	
	9,19957	10,758052	1,558482	
	11,898971	13,46487	1,565899	1,5804638
10	3,889297	5,495802	1,606505	
	7,166038	8,771512	1,605474	
	10,336954	11,902037	1,565083	
	13,364277	14,92584	1,561563	
	16,333501	17,940476	1,606975	1,58912
20	2,293846	3,921387	1,627541	
	5,342422	6,944639	1,602217	
	8,087874	9,655856	1,567982	
	10,76291	12,351916	1,589006	
	13,476003	15,047606	1,571603	1,5916698
30	3,098113	4,700709	1,602596	
	6,116945	7,707168	1,590223	
	8,937598	10,571495	1,633897	
	11,723948	13,284049	1,560101	
	14,760887	16,356151	1,595264	1,5964162
40	2,336626	3,957694	1,621068	
	5,230087	6,841977	1,61189	
	7,901939	9,444718	1,542779	
	10,593244	12,185332	1,592088	
	13,321308	14,953514	1,632206	1,6000062
50	2,408965	4,015814	1,606849	
	5,252158	6,884529	1,632371	
	8,062439	9,702998	1,640559	
	10,799449	12,361727	1,562278	
	13,489418	15,085167	1,595749	1,6075612

počet streamů	začátek hovoru [s]	Konec hov. [s]	Čas. rozdíl [s]	Celk. průměr [s]
60	2,482935	4,088639	1,605704	
	5,331171	6,935715	1,604544	
	8,034506	9,662984	1,628478	
	10,641794	12,243439	1,601645	
	13,230136	14,84725	1,617114	1,611497
70	2,049966	3,666154	1,616188	
	4,818125	6,429223	1,611098	
	7,574538	9,189231	1,614693	
	10,410492	12,02057	1,610078	
	13,264177	14,87342	1,609243	1,61226
80	1,051342	2,651471	1,600129	
	3,709376	5,339208	1,629832	
	6,409997	8,017528	1,607531	
	9,160151	10,781351	1,6212	
	11,976239	13,590471	1,614232	1,6145848
90	0,957074	2,572748	1,615674	
	3,533893	5,094316	1,560423	
	6,479769	8,132688	1,652919	
	9,256646	10,88116	1,624514	
	11,965716	13,598677	1,632961	1,6172982
100	1,091136	2,729683	1,638547	
	3,637047	5,262295	1,625248	
	6,192079	7,821214	1,629135	
	8,836549	10,443102	1,606553	
	11,398356	13,01245	1,614094	1,6227154
110	0,901125	2,529829	1,628704	
	3,391463	5,007006	1,615543	
	5,945604	7,572003	1,626399	
	8,366567	9,994503	1,627936	
	10,992887	12,613323	1,620436	1,6238036

Časové rozdíly protokolu IAX mezi ústřednami PBX2 a PBX3

počet streamů	Zač. hovoru [s]	Konec hov. [s]	Čas. rozdíl [s]	Celk. průměr [s]
0	0,000334	1,605272	1,604938	
	3,261716	4,829421	1,567705	
	6,007308	7,574731	1,567423	
	8,691453	10,254823	1,56337	
	11,464273	13,096467	1,632194	1,587126
10	1,279389	2,877911	1,598522	
	4,013567	5,58495	1,571383	
	6,720499	8,289564	1,569065	
	9,379249	10,97347	1,594221	
	12,105169	13,712201	1,607032	1,5880446
20	1,19147	2,80902	1,61755	
	3,767106	5,361616	1,59451	
	6,484028	8,060766	1,576738	
	9,080391	10,676775	1,596384	
	11,820726	13,383951	1,563225	1,5896814
30	1,324847	2,94597	1,621123	
	3,977098	5,587352	1,610254	
	6,578646	8,174996	1,59635	
	9,089972	10,676886	1,586914	
	11,527487	13,088993	1,561506	1,5952294
40	1,204444	2,811352	1,606908	
	3,765909	5,372449	1,60654	
	6,485096	8,074275	1,589179	
	9,122716	10,726939	1,604223	
	11,830772	13,405262	1,57449	1,596268
50	1,223265	2,829299	1,606034	
	3,915981	5,511976	1,595995	
	6,640377	8,258285	1,617908	
	9,353274	10,952832	1,599558	
	12,067135	13,633209	1,566074	1,5971138

počet streamů	Zač. hovoru [s]	Konec hov. [s]	Čas. rozdíl [s]	Celk. průměr [s]
60	1,187483	2,838729	1,651246	
	3,962027	5,537308	1,575281	
	6,508395	8,114255	1,60586	
	9,279572	10,848391	1,568819	
	11,965736	13,550508	1,584772	1,5971956
70	1,22589	2,82031	1,59442	
	3,953552	5,527547	1,573995	
	6,974794	8,584186	1,609392	
	9,904907	11,511296	1,606389	
	12,780437	14,383438	1,603001	1,5974394
80	1,174059	2,779184	1,605125	
	3,76311	5,37066	1,60755	
	6,446289	8,042348	1,596059	
	9,032335	10,604179	1,571844	
	11,663039	13,270231	1,607192	1,597554
90	0,911453	2,531992	1,620539	
	3,569504	5,177117	1,607613	
	6,304041	7,869389	1,565348	
	8,913057	10,512396	1,599339	
	11,554907	13,150388	1,595481	1,597664
100	1,151829	2,759464	1,607635	
	3,940492	5,547799	1,607307	
	6,737208	8,336012	1,598804	
	9,488202	11,090144	1,601942	
	12,156748	13,73141	1,574662	1,59807
110	1,067754	2,675505	1,607751	
	3,778853	5,381946	1,603093	
	6,544385	8,153858	1,609473	
	9,322415	10,892748	1,570333	
	12,037609	13,638	1,600391	1,5982082

Kvalita hovoru v síti GSM

REFERENCE	DEGRADED	PESQMOS	MOSLQO	SAMPLE_FREQ	MODE
orig.wav	m5_0000	3,486	3,534	8000	nb
orig.wav	m5_0001	3,654	3,759	8000	nb
orig.wav	m5_0002	3,665	3,773	8000	nb
orig.wav	m5_0003	3,453	3,488	8000	nb
orig.wav	m5_0004	3,671	3,78	8000	nb
orig.wav	m5_0005	3,613	3,706	8000	nb
orig.wav	m5_0006	3,56	3,635	8000	nb
orig.wav	m5_0007	3,493	3,544	8000	nb
orig.wav	m5_0008	3,593	3,68	8000	nb
orig.wav	m5_0009	3,634	3,733	8000	nb
orig.wav	m5_0010	3,429	3,455	8000	nb
orig.wav	m5_0011	3,672	3,781	8000	nb
orig.wav	m5_0012	3,648	3,751	8000	nb
orig.wav	m5_0013	3,281	3,301	8000	nb
orig.wav	m5_0014	3,656	3,761	8000	nb
orig.wav	m5_0015	3,387	3,394	8000	nb
orig.wav	m5_0016	3,58	3,663	8000	nb
orig.wav	m5_0017	3,609	3,7	8000	nb
orig.wav	m5_0018	3,411	3,43	8000	nb
orig.wav	m5_0019	3,631	3,73	8000	nb
orig.wav	m5_0020	3,616	3,71	8000	nb
orig.wav	m5_0021	3,721	3,844	8000	nb
orig.wav	m5_0022	3,766	3,898	8000	nb
orig.wav	m5_0023	3,683	3,796	8000	nb
orig.wav	m5_0024	3,628	3,726	8000	nb
orig.wav	m5_0025	3,411	3,429	8000	nb
orig.wav	m5_0026	3,315	3,392	8000	nb
orig.wav	m5_0027	3,52	3,581	8000	nb
orig.wav	m5_0028	3,46	3,499	8000	nb
orig.wav	m5_0029	3,345	3,389	8000	nb
orig.wav	m5_0030	3,572	3,651	8000	nb
orig.wav	m5_0031	3,369	3,421	8000	nb
orig.wav	m5_0032	3,529	3,594	8000	nb
orig.wav	m5_0033	3,483	3,53	8000	nb
orig.wav	m5_0034	3,576	3,657	8000	nb
orig.wav	m5_0035	3,546	3,617	8000	nb
orig.wav	m5_0036	3,754	3,883	8000	nb
orig.wav	m5_0037	3,636	3,736	8000	nb

REFERENCE	DEGRADED	PESQMOS	MOSLQO	SAMPLE_FREQ	MODE
orig.wav	m5_0038	3,379	3,383	8000	nb
orig.wav	m5_0039	3,366	3,395	8000	nb
orig.wav	m5_0040	3,412	3,481	8000	nb
orig.wav	m5_0041	3,524	3,587	8000	nb
orig.wav	m5_0042	3,772	3,905	8000	nb
orig.wav	m5_0043	3,78	3,914	8000	nb
orig.wav	m5_0044	3,735	3,86	8000	nb
orig.wav	m5_0045	3,574	3,655	8000	nb
orig.wav	m5_0046	3,639	3,739	8000	nb
orig.wav	m5_0047	3,695	3,811	8000	nb
orig.wav	m5_0048	3,739	3,865	8000	nb
orig.wav	m5_0049	3,725	3,848	8000	nb
orig.wav	m5_0050	3,68	3,792	8000	nb
orig.wav	m5_0051	3,705	3,823	8000	nb
orig.wav	m5_0052	3,755	3,885	8000	nb
orig.wav	m5_0053	3,656	3,762	8000	nb
orig.wav	m5_0054	3,829	3,971	8000	nb
orig.wav	m5_0055	3,608	3,7	8000	nb
orig.wav	m5_0056	3,749	3,877	8000	nb
orig.wav	m5_0057	3,731	3,855	8000	nb
orig.wav	m5_0058	3,615	3,709	8000	nb
orig.wav	m5_0059	3,491	3,541	8000	nb
orig.wav	m5_0060	3,733	3,857	8000	nb
orig.wav	m5_0061	3,451	3,484	8000	nb
orig.wav	m5_0062	3,534	3,6	8000	nb
orig.wav	m5_0063	3,695	3,811	8000	nb
orig.wav	m5_0064	3,831	3,974	8000	nb
orig.wav	m5_0065	3,704	3,822	8000	nb
orig.wav	m5_0066	3,478	3,523	8000	nb
orig.wav	m5_0067	3,66	3,766	8000	nb
orig.wav	m5_0068	3,624	3,721	8000	nb
orig.wav	m5_0069	3,441	3,471	8000	nb
orig.wav	m5_0070	3,562	3,638	8000	nb
orig.wav	m5_0071	3,693	3,809	8000	nb
orig.wav	m5_0072	3,716	3,836	8000	nb
orig.wav	m5_0073	3,653	3,758	8000	nb
orig.wav	m5_0074	3,448	3,481	8000	nb
orig.wav	m5_0075	3,594	3,681	8000	nb
orig.wav	m5_0076	3,469	3,511	8000	nb
orig.wav	m5_0077	3,676	3,787	8000	nb

REFERENCE	DEGRADED	PESQMOS	MOSLQO	SAMPLE_FREQ	MODE
orig.wav	m5_0078	3,395	3,406	8000	nb
orig.wav	m5_0079	3,674	3,785	8000	nb
orig.wav	m5_0080	3,505	3,561	8000	nb
orig.wav	m5_0081	3,576	3,657	8000	nb
orig.wav	m5_0082	3,629	3,727	8000	nb
orig.wav	m5_0083	3,672	3,782	8000	nb
orig.wav	m5_0084	3,708	3,827	8000	nb
orig.wav	m5_0085	3,497	3,549	8000	nb
orig.wav	m5_0086	3,436	3,465	8000	nb
orig.wav	m5_0087	3,505	3,562	8000	nb
orig.wav	m5_0088	3,698	3,815	8000	nb
orig.wav	m5_0089	3,794	3,931	8000	nb
orig.wav	m5_0090	3,746	3,873	8000	nb
orig.wav	m5_0091	3,537	3,605	8000	nb
orig.wav	m5_0092	3,633	3,733	8000	nb
orig.wav	m5_0093	3,68	3,792	8000	nb
orig.wav	m5_0094	3,562	3,638	8000	nb
orig.wav	m5_0095	3,524	3,587	8000	nb
orig.wav	m5_0096	3,714	3,835	8000	nb
orig.wav	m5_0097	3,655	3,761	8000	nb
orig.wav	m5_0098	3,698	3,815	8000	nb
orig.wav	m5_0099	3,506	3,562	8000	nb
Celkový průměr		3,595	3,681		